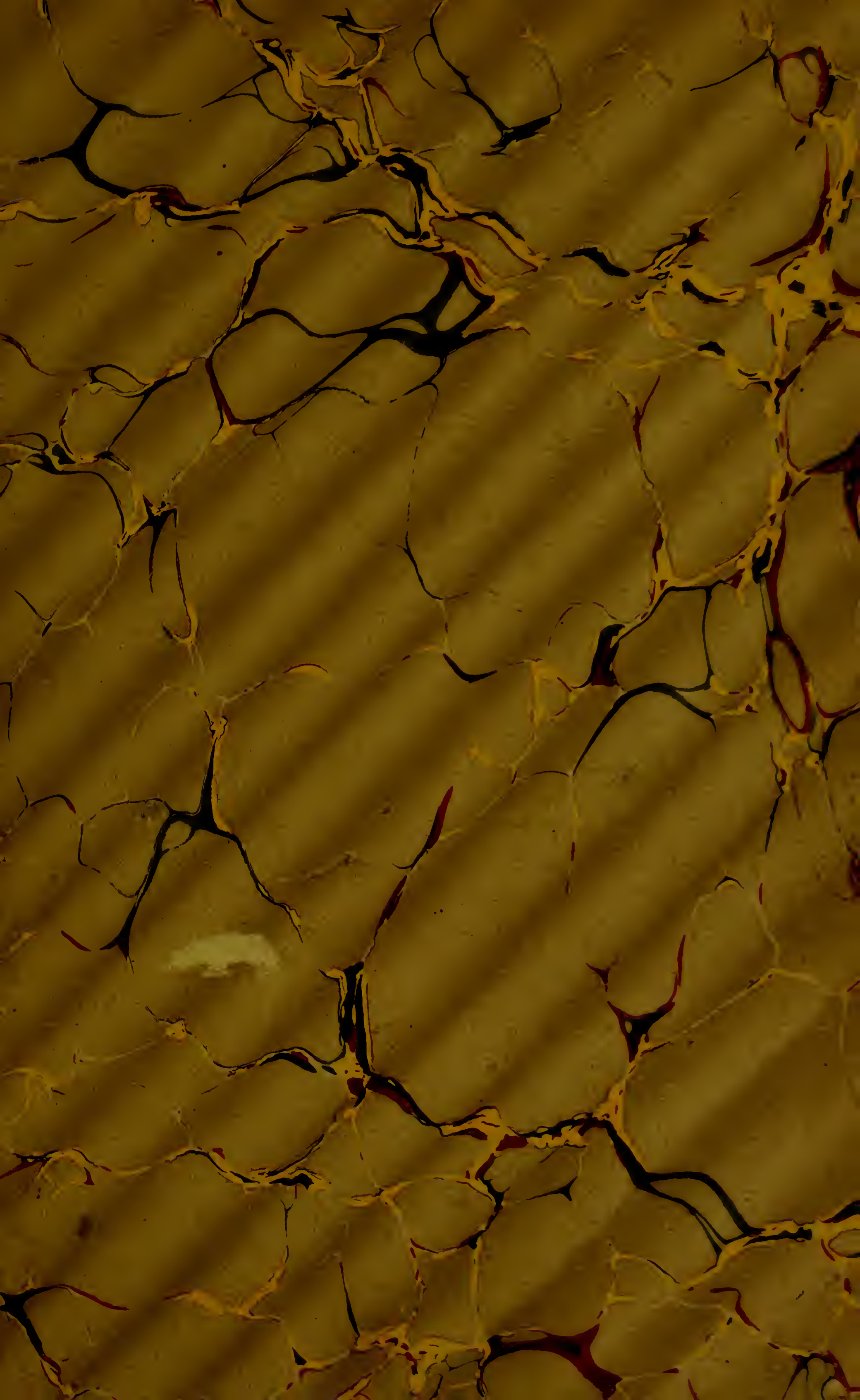

XLII - 19
YGLESIA·MAYOR
1555
EX-LIBRIS
RICARDº DE RºBINA



ENCYCLOPÉDIE DES TRAVAUX PUBLICS

ARCHITECTURE ET CONSTRUCTIONS CIVILES

MAÇONNERIE

ENCYCLOPÉDIE

DES

TRAVAUX PUBLICS

Fondée par **M.-C. LECHALAS**, Inspr génal des Ponts et Chaussées

Médaille d'or à l'Exposition universelle de 1889

ARCHITECTURE & CONSTRUCTIONS CIVILES

MAÇONNERIE

PAR

J. DENFER

ARCHITECTE

PROFESSEUR A L'ÉCOLE CENTRALE

TOME SECOND

PARIS

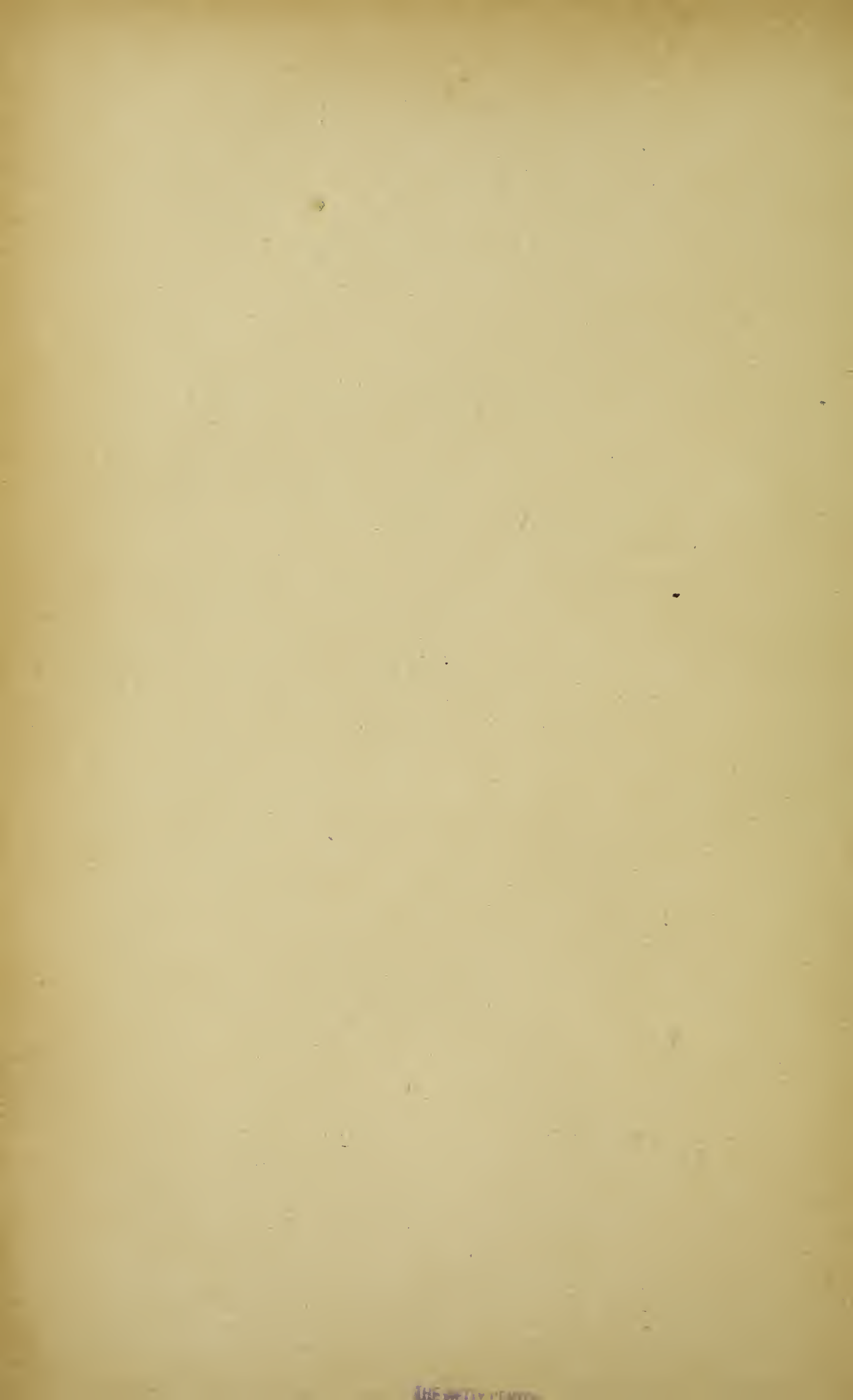
LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE

BAUDRY ET Cie, LIBRAIRES-ÉDITEURS

15, RUE DES SAINTS-PÈRES

MÊME MAISON A LIÈGE

1891


THE

CHAPITRE VI

CLOISONS, PLANCHERS, VOUTES

§ 1. *Des cloisons en maçonnerie.*
§ 2. *Des planchers en maçonnerie.*
§ 3. *Des voûtes.*

SOMMAIRE :

§ 1er. — *Des cloisons en maçonnerie :* 276. Des cloisons en général. — 277. Cloisons en briques à plat. — 278. Cloisons en briques de champ. — 279. Cloisons en remplissages. — 280. Cloisons en carreaux de plâtre. — 281. Evaluation en Légers des ouvrages applicables aux cloisons.

§ 2. — *Des planchers en maçonnerie* : 282. Du hourdis des planchers en bois. Hourdis plein. — 283. Hourdis en auget. — 284. Planchers creux.— 285. Planchers à solives apparentes ; disposition de la maçonnerie. — 286. Bardeaux en terre cuite. — 287. Hourdis de planchers en fer soutenus par entretoises et fentons. — 288. Hourdis soutenu entre solives serrées par des boulons. — 289. Cintrage des planchers. — 290. Nature de la maçonnerie qui doit composer le hourdis. — 291. Hourdis en auget et hourdis plein. — 292. Hourdis en matériaux légers. — 293. Hourdis en forme de voûte. — 294. Evaluation en légers ouvrages des travaux concernant les planchers.

§ 3. — *Des voûtes* : 295. Des voûtes en général. — 296. Différentes sortes de voûtes. — 297. Des voûtes en berceaux, droites, biaises et en descente. — 298. Matériaux employés; voûtes en maçonneries mixtes; arcs doubleaux. — 299. Berceau circulaire à plein cintre. — 300. Berceaux en arcs surbaissés. — 301. Voûtes en berceau ogivales. — 302. Voûtes en berceau avec lunettes. — 303. Ouverture de passages dans les voûtes en berceau. — 304. Voûtes d'arêtes.— 305. Voûtes d'arêtes avec doubleaux. — 306. Voûtes d'arêtes sur des murs et piliers. — 307. Application à un réservoir d'eau. — 308. Voûtes en arc de cloître. — 309. Des jours dans les voûtes en arc de cloître. — 310. Voûtes en arc de cloître avec plafonds; plafonds avec voussures. — 311. Voûtes en arc de cloître barlongues. — 312. Voûtes en plate-bandes. — 313. Voûtes annulaires. — 314. Voûtes annulaires en descente ; vis Saint-Gilles. — 315. Voûtes coniques. —316. Lunettes coniques. — 317. Voûtes conoïdes. — 318. Trompes sur murs droits.— 319. Trompes sur les angles saillants. — 320. Trompes sur les angles rentrants. — 321. Voussures. — 322. Coupoles; coupole en arc de cloître sur plan polygonal. — 323. Coupole sur plan carré; voûtes, trompes, pendentifs. — 324. Coupole sphérique sur mur circulaire. — 325. Coupole sphérique sur plan carré; pendentifs. — 326. Différentes formes de voûtes sur pendentifs; exemples. — 327. Voûtes en segments sphériques. — 328. Voûtes d'arêtes nervées; forme générale, nervures diagonales, doubleaux, formerets. — 329. Nervures additionnelles, tiercerons, liernes. — 330. Construction des premières voûtes d'arêtes romanes. — 331. Voûtes d'arêtes avec emploi de l'ogive. Elles procèdent de la coupole. — 332. Voûtes d'arêtes spéciales à chaque travée. — 333. Voûtes dont les nervures sont de courbure uniforme.

CHAPITRE VI

CLOISONS, PLANCHERS ET VOUTES

§ 1er

DES CLOISONS EN MAÇONNERIE

276. Cloisons en général. — On nomme cloisons, dans les bâtiments, des murs minces au-dessous de 0 m. 22 d'épaisseur.

On les fait en briques, en remplissages ou en carreaux de plâtre. Elles peuvent être portées par les planchers ou sur de légères fondations, et d'ordinaire ne peuvent soutenir aucune autre charge que leur propre poids.

277. Cloisons en briques à plat. — Les cloisons en briques peuvent avoir deux épaisseurs différentes : 0 m. 11, soit une brique à plat ; 0 m. 06 à 0 m. 07 soit une brique de champ.

Elles se font ou bien en briques pleines ou en briques creuses.

Les cloisons en briques à plat exigent ou une fondation suffisante, ou un plancher assez solide pour les porter. Elles ont une stabilité assez grande pour franchir sans poteau la hauteur de 4 ou 5 m. d'un étage élevé. Quelquefois, lorsque les briques sont de bonne qualité et qu'elles sont convenablement soutenues, on peut leur faire porter les solives d'un plancher de petite portée et peu chargé.

On les hourde en mortier de chaux ou de ciment, ce qui permet de prévenir les tassements. Dans les constructions où ceux-ci ne sont pas à craindre, on fait le hourdis en mortier de plâtre. Il faut alors se garer des joints de plus de 0 m. 01 d'épaisseur. Il est bon également de ne compléter la cloison à sa partie supérieure qu'après que la majeure partie de sa surface a pris son tassement, c'est-à-dire après une huitaine de jours. On remplace le plâtre par le ciment dans le premier mètre du bas, près du sol.

Les cloisons hourdées en plâtre sont presque toujours enduites des deux faces. Celles hourdées en chaux ou ciment peuvent avoir un parement vu. En raison de l'irrégularité d'épaisseur des briques, on ne fait pas les deux parements d'une même cloison en briques apparentes.

Le parement de la face vue exige dans sa confection des soins particuliers. Il faut régler de hauteur les différentes assises, et, pour aider à la régularité, on établit aux extrémités de l'alignement deux perches ou règles verticales, s'accordant bien comme niveau et sur lesquelles sont marquées d'avance bien exactement les hauteurs des assises successives. Au fur à mesure de la construction, on tend une ligne d'une perche à l'autre, suivant les traits tracés, et cette ligne sert à faire bien de niveau l'assise en construction. La cloison élevée, on fait le jointoiement de la face apparente.

Les cloisons de 0 m. 11 sont composées de carreaux sans boutisses, et on peut disposer l'arrangement des briques de manière à produire des dessins réguliers. On accuse ces dessins par le choix de briques de colorations différentes, et souvent même de briques émaillées.

La fig. 475 donne la coupe d'un vestibule d'entrée d'une maison de Paris, avec cloisons en briques pour parement. Une partie des briques formant les dessins accusés sont émaillées de couleurs brune et blanche.

Lorsqu'une porte doit être réservée dans une cloison en briques à plat, il est nécessaire de lui préparer une huisserie dont les montants et la traverse ont comme épaisseur exactement celle que doit avoir la cloison et dont il est nécessaire de se rendre compte, suivant la nature de l'enduit, son

épaisseur, et le nombre de faces qui sont recouvertes. On a soin de nerver les poteaux pour recevoir les abouts des briques que vient recouvrir en plus le chambranle mouluré.

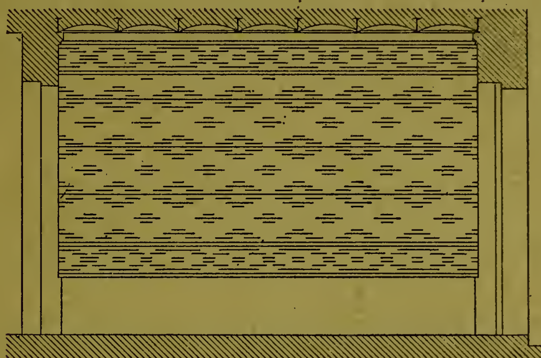


Fig. 475.

Les cloisons en briques creuses sont nécessairement ravalées en mortier ou en plâtre, en raison de l'irrégularité de leurs faces et de leurs trous qui rendent le jointoiement moins solide. Elles présentent dans les appartements l'inconvénient de ne pouvoir recevoir de clous soit directement, soit par l'intermédiaire d'un tampon. Lorsque l'on a à y adapter des clous ou pitons, il est indispensable de faire un trou d'assez grande dimension pour y sceller un morceau de bois de 0,10 × 0,10 × 0,07, et c'est sur ce morceau de bois que l'on se fixe. On a le désagrément de raccords de tenture ou de peinture à chaque opération.

Les briques creuses les plus économiques pour faire les cloisons de 0 m. 11 sont les briques de 0,11 × 0,22 × 0,11 à 9 trous.

278. Cloisons en briques de champ. — La manière de hourder les cloisons en briques de 0,06 est identique à celle que nous avons indiquée pour les briques à plat.

Seulement la stabilité est moins grande, et il est nécessaire de l'augmenter par le moyen de poteaux de remplissage, espacés d'au plus 2,00. Ces poteaux sont généralement en bois avec

nervure de chaque côté pour engager la brique. D'autres fois on a avantage à les exécuter en fer, et on prend pour cela des fers de 0,08 bien dressés.

Très rarement les cloisons de 0,06 sont à parements apparents; leur régularité n'est pas assez grande. Elles sont donc enduites des deux faces et l'enduit peut être en plâtre, sauf près du sol où il est avantageux de l'exécuter en ciment pour éviter le salpêtrage.

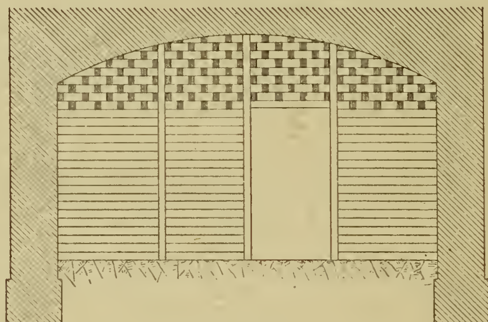


Fig. 476

Dans les distributions de caves, où la régularité absolue du parement est moins nécessaire, on laisse les briques parementées, on fait avec soin le jointoyage au ciment, et on dispose à jour la partie supérieure pour permettre l'aérage de tous les compartiments du sous-sol, comme l'indique le croquis ci-dessus. La partie à jour ne commence qu'à 2,00 au-dessus du sol (fig. 476).

L'inconvénient que nous avons signalé pour les cloisons en briques à plat dans les appartements subsiste en son entier pour les cloisons en briques de champ. Il est impossible d'y enfoncer un clou ni d'y tamponner ; lorsque les briques sont creuses, cet inconvénient s'accentue encore ; il faut faire de véritables scellements, et ici les raccords sont à faire sur les deux faces en raison de la mince épaisseur.

279. Cloisons en remplissages. — On fait avec avantage les distributions des locaux habités, à Paris, avec des

cloisons en bois et plâtre que l'on nomme des *cloisons en remplissages*.

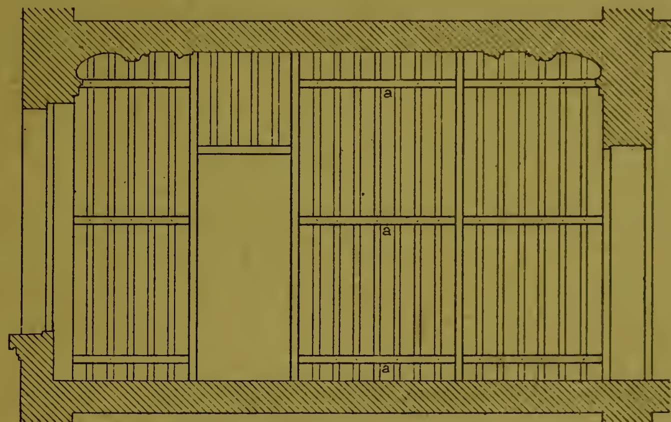


Fig. 477.

On les exécute de la façon suivante : Entre les poteaux d'huisserie, les poteaux de remplissage et les murs, on assemble trois cours de doubles traverses *a* embrassant des planches refendues verticales maintenues avec des clous. On a ainsi une sorte de pan de bois très léger qui, dans les endroits où il y a trois bois superposés a 0 m. 06 d'épaisseur. C'est l'ossature de la cloison (fig. 477).

On remplit ensuite en plâtre tous les intervalles des bois et on fait un enduit sur chaque face.

C'est la meilleure et la plus solide cloison qu'on puisse faire. Elle reçoit bien les clous et convient tout à fait pour les maisons d'habitation.

Pour des planchers espacés de 2 m. 50 à 3 m. 50, on leur donne 0 m. 08 d'épaisseur ; pour des hauteurs d'étages plus grandes, on porte l'épaisseur à 0 m. 10 ou 0 m. 12, les épaisseurs des bois grossissant en proportion.

280. Cloisons en carreaux de plâtre. — On remplace souvent le remplissage par des carreaux de plâtre. Ce sont des galettes plates faites dans des moules très simples sur des

surfaces horizontales, avec du mortier de plâtre et des déchets de plâtres auxquels on ajoute quelquefois un peu de mâchefer. Ils ont deux surfaces rugueuses parallèles, sont rectangulaires, et présentent sur la tranche une rainure destinée à recevoir le mortier. On les fait de bien des dimensions : 0,50 × 0,30 et 0,065, 0,70 × 0,50 × 0,065 sont les plus communes (fig. 478).

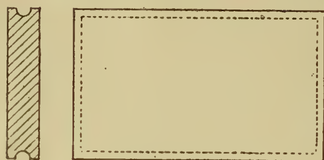


Fig. 478.

Pour les employer on les met de champ l'un sur l'autre, avec un peu de plâtre interposé dans la rainure. Mais il est important que préalablement, au moyen de boulons ou de plate-bandes bien assemblées, on ait maintenu invariable la distance des poteaux.

On fait ensuite les enduits sur chaque face.

Les épaisseurs des cloisons en carreaux de plâtre varient avec les hauteurs d'étage et ont :

0,08 jusqu'à 3,50, compris les deux enduits
0,10 — 4,50 — —
0,12, au-dessus.

On a fait des carreaux de plâtre de 0,16 d'épaisseur, et on les emploie comme murs extérieurs dans des bâtiments de dernier ordre.

On fait aussi des carreaux de plâtre, fabriqués entre marbres, tout à fait lisses et d'épaisseur très régulière, et on les emploie sans enduits dans les contructions très ordinaires.

Les cloisons en carreaux de plâtre donnent le même bon usage que les cloisons en remplissages. Un peu moins homogènes et un peu moins solides peut-être, elles donnent lors des démolitions des matériaux qu'on peut réemployer.

281. Evaluation en légers des ouvrages applicables aux cloisons.

Hourdis de cloisons de remplissage en plâtre et plâtras, compris toutes fournitures, de 0,06 à 0,08 d'épaisseur le mètre superficiel vaut en légers. . . . 0l,33

Par chaque centimètre d'épaisseur en plus 0,015

Hourdis de pan de bois de 0,16 à 0,20 d'épaisseur,

le mètre superficiel 0, 33

Par chaque centimètre d'épaisseur en plus 0, 02

Enduit en plâtre sur cloison ou pan de bois, compris crépi et gobetage, le mètre superficiel 0, 25

Cloison en carreaux de plâtre, compris enduits sur les deux faces de 0,08 d'épaisseur, le mètre superficiel 1, 00

Cloison en carreaux de plâtre lisses, simplement jointoyés aux deux faces, le mètre superficiel. . . . 0, 75

Ces évaluations comprennent les échafaudages nécessaires à l'exécution des ouvrages, ainsi que les nettoyages et l'enlèvement des déchets et gravois.

§ 2

DES PLANCHERS EN MAÇONNERIE

282. Des hourdis de planchers en bois. — Hourdis plein. — Les planchers en bois sont composés, en principe, d'une série de pièces de bois parallèles appelées solives, posées horizontalement par leurs extrémités sur des murs plus ou moins écartés, et suffisamment résistantes pour franchir l'intervalle sans flexion apparente, tout en portant des charges déterminées.

Quelques planchers sont terminés par une surface de planches jointives ou rainées, clouées sur les solives et séparant les locaux étagés ; mais, dans la plupart des cas, on obtient une séparation plus complète à tous les points de vue, au moyen d'un remplissage partiel ou total du vide des bois par de la maçonnerie. Ce remplissage, ainsi fait, porte le nom de *hourdis*.

Il y a bien des manières de faire ces hourdis. On trouve d'anciens planchers formés de grosses solives dont les faces latérales sont creusées comme dans la fig. 479, et les intervalles de ces solives, les entrevous, comme on les appelle, sont com-



Fig. 479.

plètement remplis de maçonnerie arasant le dessous comme le dessus de ces pièces de bois. Pour retenir le hourdis on enfonçait dans les faces de côté de grandes chevilles de bois qui se trouvaient comprises dans la maçonnerie, et on maintenait l'écartement des solives par des plate-bandes et des boulons.

Ce genre de hourdis porte le nom de *hourdis plein*. Il charge beaucoup la charpente, mais donne aux planchers une plus grande insonorité. Il isole également mieux les étages au commencement d'un incendie.

L'enduit en plâtre qui doit former le plafond inférieur trouve une surface toute prête pour le recevoir, à la condition de *larder* un grand nombre de clous à bateau sur la face inférieure du bois pour augmenter l'adhérence.

La face supérieure est un plan continu sur lequel il est facile d'établir soit un carrelage, soit un plancher en bois pour la pièce supérieure.

283. Hourdis en auget. — Ces maçonneries pleines sont presque abandonnées maintenant. On fait aujourd'hui les hourdis de la manière suivante (fig. 480).

Les solives sont espacées de 0,33 d'axe en axe. On les larde des clous à bateau sur leurs faces latérales et on cloue horizontalement sous les bois des *lattes* espacées *tant plein que vide*. Les lattes sont des morceaux de bois ordinairement en cœur de chêne refendu, ayant 0 m. 04 de large, 0 m. 008 d'épaisseur et une longueur de 1 m. 30. On les dispose perpendiculairement aux solives, en ayant soin d'assurer chaque croisement par un clou.

Cela fait, on établit provisoirement une surface de planches jointives que l'on cale sous les solives au moyen de boulins, et on construit en maçonnerie, ordinairement de plâtre et plâtras, la moitié de la hauteur de l'entrevous, en lui donnant en haut une forme cintrée. On forme ainsi ce que l'on nomme des *augets*, et le *cintrage* provisoire en planches n'a été mis sous le plancher que pour soutenir la maçonnerie pendant qu'on l'exécute. Lorsque la prise du mortier est faite on enlève le cintrage qui n'a plus d'objet.

On peut faire ensuite le plafond inférieur en jetant sur sa surface deux couches successives de plâtre bien dressé : l'une de 0 m. 02, en plâtre au panier, brettelé grossièrement, que l'on appelle le *crépi ;* l'autre, d'environ 0 m. 01 d'épaisseur, en plâtre tamisé dit *plâtre au sas* et que l'on appelle l'*enduit*

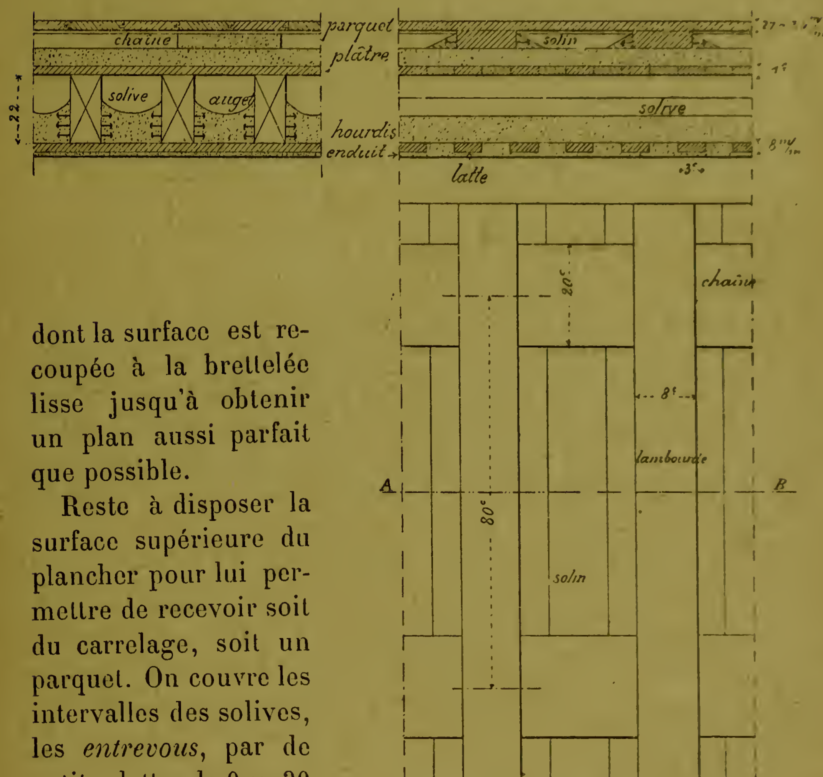
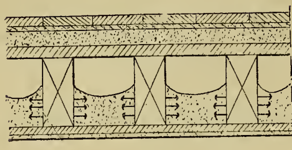


Fig. 480.

dont la surface est recoupée à la brettelée lisse jusqu'à obtenir un plan aussi parfait que possible.

Reste à disposer la surface supérieure du plancher pour lui permettre de recevoir soit du carrelage, soit un parquet. On couvre les intervalles des solives, les *entrevous*, par de petites lattes de 0 m. 30 de longueur que l'on nomme des *bardeaux* et que l'on pose jointifs. Ils ont environ 0 m. 01 d'épaisseur, et sur ces bardeaux on coule une couche de mortier de plâtre de 0 m. 04 à 0 m. 05 que l'on appelle une *aire en plâtre*, qui donne une surface horizontale continue.

C'est sur cette surface, sur cette aire, que l'on établit le


Fig. 481.

carrelage par l'intermédiaire d'une couche de poussier fin (fig. 481). Si au lieu de carrelage on avait à mettre du parquet, il faudrait préparer, poser, régler à hauteur convenable, caler et sceller des pièces de bois appelées *lambourdes* de 0,08 de large, 0,040 à 0,060 d'épaisseur qui seront chargées de recevoir le parquet, comme il est indiqué à la fig. 480.

Le scellement déborde de chaque côté du bois et forme une pente qui s'appelle un *solin*, et on consolide ces solins par de petits murs perpendiculaires à la direction des lambourdes, qui arasent leur partie supérieure à 0.01 près, et qui donnent une grande solidité. Ce sont les *chaînes en travers*, on les espace de 1 m. 50 à 2 m.

On maintient bien mieux les lambourdes dans leur scellement en garnissant préalablement à la pose leurs faces latérales de clous à bateau enfoncés en biais et à moitié ; la tête saillante se trouve prise dans le plâtre et bien maintenue.

La fig. 482 montre tous ces détails en coupe transversale, coupe longitudinale et en plan.

Dans les pays où l'emploi du plâtre n'est pas répandu, on maintient les lambourdes sur les fers ou sur la maçonnerie de remplissage au moyen de crampons de fer convenablement assujettis ; ou les chevauche alternativement d'un côté puis de l'autre de chaque lambourde pour éviter tout déversement.

284. Planchers creux. — On n'a pas toujours besoin

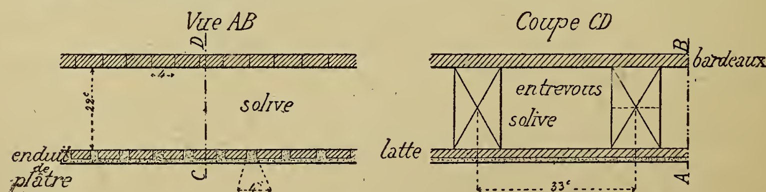


Fig. 482.

d'une insonorité aussi grande ou bien on la sacrifie, par raison d'économie, pour avoir des charpentes plus légères.

On fait alors les hourdis de planchers beaucoup plus minces. Sur les lattes du plafond, on ne met que la quantité de plâtre strictement nécessaire pour obtenir un ouvrage solide, c'est-à-dire environ 0 m. 05, compris les lattes, et c'est sur ces hourdis que l'on jette le plafond comme il a été dit. L'entrevous est alors presque entièrement vide et il en résulte une bien moins grande charge pour les bois. Le dessus se fait avec une aire en plâtre de la même façon que ci-dessus. Ces planchers plus légers sont représentés fig. 482.

285. Planches à solives apparentes. Disposition de la maçonnerie. — Dans nos habitations, on cherche à éviter la poussière et à diminuer les angles où les insectes peuvent se réfugier ; aussi en est-on venu, pour les plus simples comme pour les plus riches demeures, à les clore par un plafond horizontal en maçonnerie.

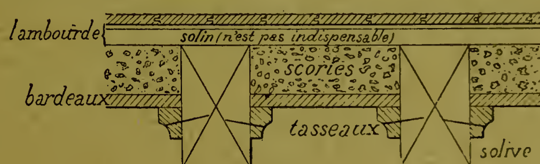


Fig. 483.

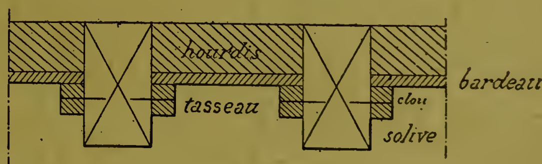


Fig. 484.

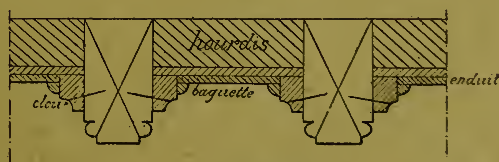


Fig. 485.

Ce n'est que dans des cas restreints qu'on laisse les solives apparentes à leur partie inférieure.

Quand on veut disposer ainsi les bois d'un plancher, il y a des modifications à faire dans la manière de les hourder.

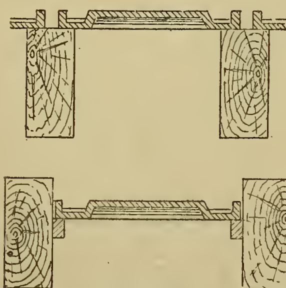
Un procédé économique consiste à clouer, bien de niveau, sur la face latérale des solives, des tringles en bois qui portent le nom de *tasseaux*, qui sont moulurés ou non, et dont la partie supérieure est environ à mi-hauteur du bois. Sur ces tasseaux, on vient poser des planches courtes, assemblées les unes avec les autres à languette et rainure, et qui se nomment encore des bardeaux. Au-dessus, on met du mâchefer ou des scories jusqu'à araser le dessus des bois, et sur la surface de ces derniers, bien réglée de hauteur, on cloue les lambourdes qui recouvrent le parquet (fig. 483).

Avec la même disposition, les scories sont souvent remplacées par de la maçonnerie (fig. 484). Mais quand on veut obtenir des entrevous proprement remplis, on abandonne les entrevous en bois apparent et on les remplace par de la maçonnerie. La fig. 485 donne la disposition employée.

Sur des tasseaux moulurés, ayant un listel assez haut, on met des bardeaux espacés tant pleins que vides. Au moyen d'une planche mobile, on fait un hourdis qui arase le dessus des solives. Quand on a enlevé la planche de cintrage, on jette un plafond en plâtre sous l'entrevous, et on cache le joint entre le plâtre et le tasseau, quand l'ouvrage est sec, au moyen d'une petite moulure en quart de rond que l'on appelle une *parclose* ou une *baguette*.

Les solives peuvent être moulurées sur l'angle pour compléter la décoration.

286. Bardeaux en terre cuite. — Pour remplir les entrevous des planchers en bois, la grande usine d'Ivry a établi des modèles de bardeaux en terre cuite qui portent aussi le nom d'*entrevous*.


Fig. 487.

Le modèle le plus courant est représenté en coupe et en plan (fig. 488). Il est à recouvrement, et le relèvement de ses bords contribue, en même temps qu'une nervure ménagée au milieu, à lui donner une grande résistance.

Il a 0.33 de long sur 0.20 de largeur.

Il se pose soit directement sur la face supérieure des solives (fig. 486), ou sur tasseaux à mi-hauteur, comme le montre la fig. 487. On peut le charger soit de maçonnerie, soit simplement d'une couche de scories recevant le plancher.

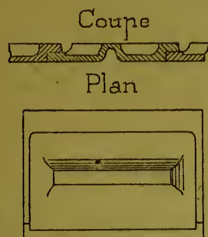


Fig. 488.

Lorsque le bardeau n'est pas chargé, on peut employer la forme plate, nervée, représentée fig. 489, et qui se pose sur tasseaux. On peut l'établir de portée variable jusqu'à 0.60 ou 0.80, lorsqu'on peut écarter les bois de cette quantité. La coupe en long du plancher montre la section de ces entrevous et le joint plat qui les sépare.

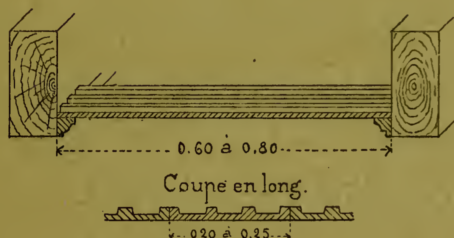
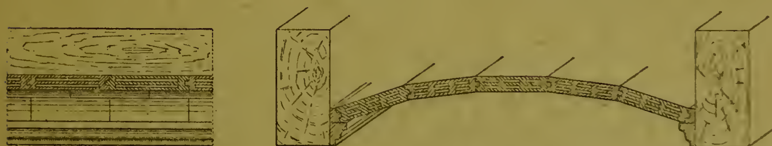


Fig. 489.

On peut encore jeter d'un bois à l'autre une voûte faite d'entrevous de 0.33 sur 0.18, qui s'assemblent sur toutes faces à languettes et rainures, fig. 490.


Fig. 490.

Une petite quantité de plâtre étalée par dessus donne à cette voûte légère une grande solidité.

Signalons les bardeaux de forme spéciale de M. Laporte,

qui viennent remplir presque tout l'entrevous séparant les solives d'un plancher en bois, fig. 491.

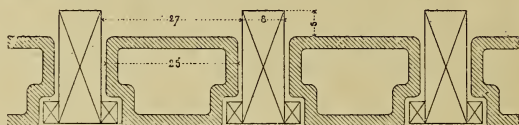


Fig. 491.

Ils sont disposés pour être portés sur tasseaux, ont un vide considérable, sont très légers, très faciles à poser, et sont striés sur leur face inférieure pour recevoir l'enduit du plafond. — Leur face haute doit venir s'araser à 0 m. 04 au-dessous de la solive, en sorte que c'est la hauteur de cette dernière qui détermine leur épaisseur; ils sont recouverts d'une aire en plâtre qui arase le dessus des solives et porte le plancher ou le carrelage.

Hourdis des planchers en fer soutenu par entretoises et fentons. — Les premiers planchers en fer ont été faits avec des lames plates posées de champ, et espacées parallèlement de 0 m. 60 à 0 m. 70.

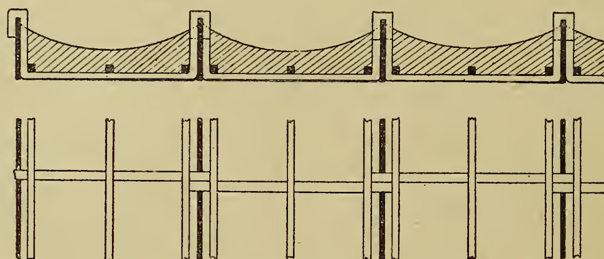


Fig. 492.

L'intervalle entre les fers, l'entrevous, était rempli de maçonnerie de plâtre et plâtras, et pour retenir ce hourdis on établissait une *paillasse* en petits fers. On mettait tous les 1 m. à 1 m. 50 des étriers en fer carré de 0 m. 02, nommés *entretoises*, portant des *fentons* ou *carillons*, fers carrés de 0 m. 013 de côté posés parallèlement aux solives et maintenus par quelques ligatures. Le hourdis noyait tous ces fers et présentait une surface supérieure dite *en augets*. On diminuait au

moyen de cette forme l'épaisseur moyenne du hourdis et par suite la charge morte de l'ouvrage (fig. 492).

Lorsque les planchers actuels ont succédé à ces premières formes, la même manière de tenir le hourdis s'est perpétuée.

Les solives sont toujours mises parallèlement les unes aux autres, mais leur section a changé; au lieu d'une forme rectangulaire, elles présentent un double T ou un I. Les entretoises changent légèrement de forme, les crochets supérieurs s'ouvrent et les branches verticales s'inclinent. Les fentons restent et le hourdis est toujours en auget (fig. 493).

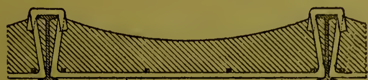


Fig. 493.

288. Hourdis soutenu entre solives serrées par des boulons. — Ce procédé, commode dans la pose, ne laisse pas d'être défectueux : les fers accessoires ne rendent pas les solives parfaitement rigides et ne maintiennent pas leur écartement.

Il est infiniment préférable de relier les diverses solives par des files de boulons à 4 écrous serrant les fers par le milieu et formant autant de chainages transversaux.

Les boulons de deux travées consécutives, dans une même file, sont écartés l'un de l'autre de 0,08 environ, et placés dans un même plan horizontal. Les files sont espacées les unes des autres d'environ 1 m. avec une demi travée le long des murs, c'est-à-dire que les files extrêmes sont écartées des murs de 0 m. 40 à 0 m. 50 ; le diamètre du fer employé pour cesboulons est de 0 m. 016 (fig. 494).

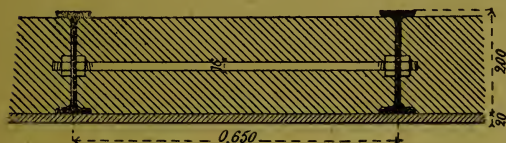


Fig. 494.

Outre le très grand avantage d'avoir du fer bien en position, que les maçons ne peuvent déranger en travaillant, on obtient par ce moyen, sans l'intermédiaire d'aucun fenton,

un serrage énergique de la maçonnerie entre les ailes des fers, et une résistance comme une sécurité absolues.

289. Cintrage des planchers. — Pour faire le hourdis on fait un cintrage provisoire en planches, à la face inférieure des solives ; on exécute la maçonnerie de remplissage, et lorsqu'elle est bien prise on enlève les planches. Il faut que ces dernières soient bien maintenues pour que le poids de la maçonnerie ne les fasse pas céder et que cette dernière après la prise ne dépasse pas irrégulièrement le dessous des fers.

Pour faire le cintrage d'un plancher dont les solives sont posées, on commence par établir au moyen de rondins de bois de pin ou de chêne appelés *boulins* et qui, de différentes longueurs, servent à faire tous les échafaudages de maçons, un premier plancher A à 1 m. 80 environ au-dessous des fers. assez solide pour porter une charge. (fig. 495).

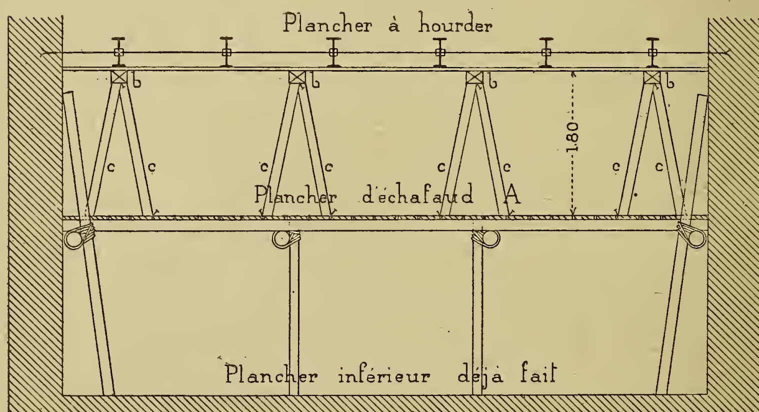


Fig. 495.

Ce plancher d'échafaud A, une fois garni de planches et bien calé sur le plancher inférieur, va servir à son tour à porter le cintrage; on vient mettre sous les solives du plancher les planches qui doivent former le cintrage ; on les établit jointives en travers des fers et on les soutient par une série de traverses lé-

gères, à section rectangulaire *b* que l'on cale au moyen des bois *c* sur le plancher d'échafaud. Ces étais se mettent en biais, alternativement dans un sens ou dans l'autre, ce qui permet de régler le serrage et d'annuler les poussées. On bouche avec du plâtre les légers interstices des planches, et on a une surface qui portera la maçonnerie jusqu'à ce qu'elle ait fait prise. Lorsque le hourdis est suffisamment durci, on enlève les cales, les planches de cintrage, et on laisse le plancher d'échafaudage qui servira ultérieurement à appliquer l'enduit du plafond.

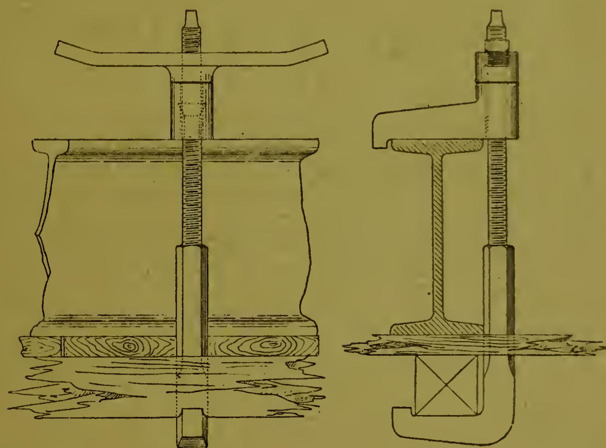


Fig. 496.

Lorsque les étages sont élevés et la surface des planchers considérable, on suspend le cintrage directement après les solives du plancher en portant les traverses au moyen de boulons, ou mieux, en employant les serre-joints de la fig. 496 qui s'accrochent directement sur les solives. Quand le hourdis a fait prise, on enlève l'écrou à manettes du haut et avec un coup de marteau on enfonce la tige qui se dégage du plancher et tombe à l'étage inférieur.

Lorsque l'on a à cintrer dans un même chantier de grandes

surfaces de planchers, on a avantage à réunir ensemble, d'avance et une fois pour toutes, plusieurs planches par deux ou trois traverses clouées et à former ainsi un certain nombre de *panneaux* de dimensions régulières, qui sont bien plus vite posés, ce qui facilite singulièrement le cintrage et en réduit le prix notablement.

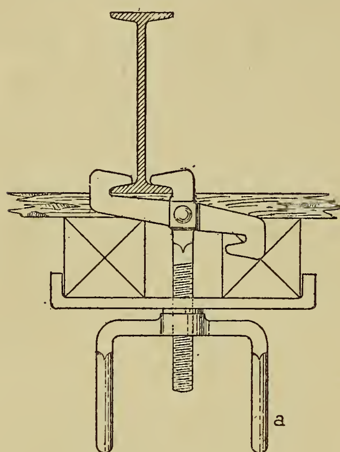


Fig. 497.

Un autre mode de serre-joint est représenté fig. 497 et porte le nom de crochet Perrières, du nom de son inventeur. Il s'agrafe avec l'aile inférieure du fer, se monte du dessous du plancher et serre à la fois deux lambourdes qui viennent soutenir les planches. On le manœuvre au moyen d'un écrou à manettes *a* ; il est peut-être plus commode que le précédent et présente l'avantage de ne pas être engagé dans la maçonnerie. La forme du tourniquet permet de le faire servir à deux fins ; d'un côté il correspond au serrage des ailes ordinaires, de l'autre à celui des solives à larges tables.

290. Nature de la maçonnerie qui doit composer le hourdis. — Suivant la destination du plancher, et aussi les matériaux du pays, la nature de la maçonnerie qui compose le hourdis pourra varier.

Pour les planchers de caves, pour ceux qui, dans les usines, sont exposés à l'humidité, il est indispensable d'employer de la maconnerie de ciment et de petits matériaux. Ces derniers sont choisis parmi les moins chers, garnis de moellons durs, pierraille, meulière. La brique doit être écartée dans bien des pays en raison de son prix élevé. Le ciment sera du ciment romain, le ciment à prise lente sera réservé aux ouvrages soignés, qui devront être étanches.

Lorsqu'un hourdis de mortier de ciment sera destiné à recevoir un plafond en plâtre, on le fera de la façon suivante (fig. 498). On pose sur les cintres la meulière à sec et on rem-

plit par dessus les joints avec du mortier de ciment, en achevant de maçonner dans toute l'épaisseur du plancher. Après le décintrement, on dégrade les joints, pendant que le mortier est encore frais, sur 0 m. 04 de profondeur et on obtient une surface ne contenant pas de ciment, présentant à l'adhérence du plâtre le parement même de la meulière et en plus les joints nettoyés avec soin. Dans ces conditions, il n'y a aucun risque que le plâtre se détache du plancher par grandes plaques non adhérentes. On emploie rarement le béton comme hourdis en raison de la lenteur de la prise et du temps qu'il faut le laisser sur le cintrage.


Fig. 498.

Cependant, dans les pays où on emploie comme maçonnerie le pisé de machefer, obtenu en mêlant à une petite quantité d'eau 200 kg. de chaux et 1 m. c. de scories et broyant bien le mélange, on peut faire d'excellents hourdis avec cette matière qui, bien pilonnée, s'agglomère instantanément et peut être de suite décintrée.

Il faut seulement éviter de marcher dessus avant une huitaine de jours.

Pour les planchers d'habitation, ou ceux des usines sèches on a, dans bien des pays, avantage à les exécuter en maçonnerie de plâtre et petits matériaux, préférablement des plâtras, lorsqu'on peut en avoir, et en raison de leur bas prix.

La seule précaution à prendre est de prévoir le gonflement du plâtre et d'éviter que les murs ne soient poussés au dehors et déviés de leur verticalité. Pour éviter cet inconvénient fâcheux, on arrête le hourdis tout autour de la pièce à 0 m. 10 de distance des murs et on ne remplit cet intervalle que plus tard quand on est sûr que le plâtre a produit tout son effet.

Le hourdis avec mortier de plâtre présente dans les constructions cet avantage qu'en dix minutes il a fait sa prise et qu'on peut décintrer de suite pour utiliser plus loin les planches de cintrage.

Quand on emploie les plâtras comme petits matériaux, il faut les trier avec soin et éviter que certains morceaux ne soient *bistrés* ou atteints de la suie d'une cheminée, car ces sortes de plâtras produisent des taches que trois couches de

peinture à l'huile dissimulent difficilement dans les plafonds.

Il est nécessaire que l'enduit qui recouvre le hourdis sur sa surface inférieure et qui forme le plafond ait sur le fer une épaisseur d'au moins 0 m. 04, compris crépis, pour éviter qu'il ne se produise une cassure et une fente au droit de chaque solive.

Lorsque les fers sont larges, on les entoure de fil de fer dans toute leur longueur, avec saillie de 0 m. 01, pour assurer une meilleure adhérence du mortier. Ce fil de fer doit être galvanisé, lorsque le mortier est du plâtre.

291. Hourdis en auget et hourdis plein. — Entre les solives en fer la surface supérieure du hourdis peut être concave ou droite. Lorsqu'elle est concave, on dit le hourdis *en augets* ; lorsqu'elle est plane,on dit que le hourdis est *plein*.

Au point de vue du prix, le hourdis en augets,est économique, employant en lui-même, moins de matériaux.

Au point de vue du poids, il n'y a pas de différence sensible, parce que le vide de l'auget se trouve rempli ultérieurement, soit par la forme nécessaire pour le carrelage, soit par les solins des scellements de lambourdes et les chaînes en travers.

Enfin, au point de vue de la résistance, le hourdis plein présente de grands avantages sur les augets.

L'expérience démontre en effet que lorsque les portées ne sont pas exagérées par rapport à l'épaisseur, un hourdis bien fait, loin de charger les fers, peut au contraire augmenter leur résistance et porter une part de la charge.

On conçoit qu'il puisse travailler comme dalle monolithe, ou encore comme une voûte en platebande, cintrée dans le sens de la longueur des solives, et dont celles-ci seraient les tirants.

Dans cette hypothèse, les parties supérieures de la maçonnerie résistent à un effort de compression bien approprié à leur mode de résistance, tandis que les parties inférieures sont ou fendues, ou fendillées, mais d'une façon insensible.

Or, quand on adopte la forme de l'auget on supprime justement les seules portions de maçonnerie qui sont capables par leur compression de concourir à la résistance du plancher, et

on ne laisse que celles qui tendent à le charger et qu'il faut alors porter.

Il faut donc plutôt tendre à augmenter au-dessus des fers, l'épaisseur de la maçonnerie, lorsqu'on veut consolider un plancher. Seulement il faut, pour pouvoir compter sur une augmentation de résistance, faire de la maçonnerie très soignée, et même étayer les fers en leur milieu avant le hourdis et maintenir les étais et le cintrage jusqu'à durcissement complet des mortiers. Le hourdis commence alors à se comprimer dès la plus petite flexion des solives, dès la première charge du plancher.

La résistance des hourdis bien faits est considérable. Un plancher hourdé plein en plâtre et plâtras de 0 m. 22 d'épaisseur, les fers espacés l'un de l'autre de 1 m. 00 à 1 m. 25 peut porter facilement en toute sécurité 1.000 kg. par m. c. Un hourdis de 0,16, les fers espacés de 1,50 peut porter 300 kg. par m. c.

Enfin on roule des brouettes de terre sur du hourdis en meulière de 0,08 d'épaisseur les fers espacés de 1 m. 00 d'axe en axe.

Les hourdis en ciment ont une résistance encore plus grande à condition d'avoir été bien exécutés et d'être complètement durcis.

292. Hourdis en matériaux légers. — On a cherché à rendre les hourdis les plus légers possible, et on est arrivé à créer des vides dans la partie milieu.

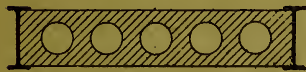


Fig. 499.

On les a ménagés de deux manières :

1° En les obtenant sur place pendant la confection du hourdis au moyen de mandrins en bois légèrement coniques que l'on recule à mesure qu'on exécute le travail. On obtient ainsi un hourdis de la forme représentée fig. 499. Cette construction est possible surtout avec l'emploi du plâtre comme mortier.

2° En préparant d'avance de grands carreaux creux, dont deux ou trois font la largeur de l'entrevous.

Tel est le système Sabrout, représenté en coupe fig. 500; les carreaux, dans ce système, sont exécutés en plâtre avec pose au mortier de plâtre.

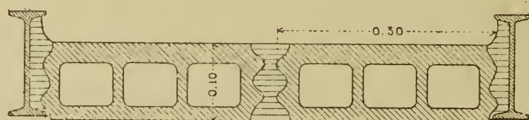


Fig. 500.

Dans le même ordre d'idées citons le hourdis Perrière, formé de grands entrevous creux très solides, d'une seule pièce en terre cuite et qui se posent directement sur l'aile des fers, fig. 501. Sous les planchers de cave on le laisse apparent en dessous et on le pose en ciment; pour les étages, on le pose au plâtre et sa surface inférieure striée permet l'adhérence de l'enduit du plafond.



Fig. 501.

L'usine d'Ivry a établi des entrevous légers, creux, dits *briques platebandes,* pour hourdis de planchers, fig. 502. Ces bardeaux creux ont l'épaisseur du plancher ; ils se composent de deux sommiers se rejoignant seuls, ou par l'intermédiaire d'une pièce milieu, qui permet de faire varier la portée. Ils peuvent être apparents en dessous, ou recevoir un enduit de plafond. Au-dessus, ils forment l'aire qui doit recevoir le carrelage ou les lambourdes du parquet.

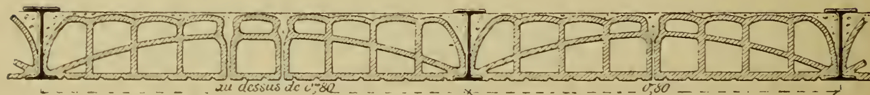


Fig. 502

Leur construction est intéressante et leur donne malgré leur très grande légèreté une résistance non moins grande; une nervure transversale forme dans la portée de l'entrevous une voûte mince, qui reporte les efforts sur les ailes inférieures des

fers du plancher. Le bout des sommiers épouse exactement la forme des solives ; la pose est très facile et n'exige qu'une quantité de mortier insignifiante.

293. Hourdis en forme de voûtes. — Les hourdis en forme de voûte sont encore bien plus rationnels au point de vue de la résistance, puisque ils ne contiennent que la maçonnerie réellement utile. Seulement le cintrage coûte plus cher. On obtient des cintres très convenables en découpant suivant la forme de la voûte deux ou plusieurs planches *a*, fig. 503, que l'on place de champ en les espaçant d'environ 1 m. 00 et en clouant dessus des voliges jointives, qui recevront, une fois en place et étayés, les matériaux de la voûte jusqu'à leur prise complète.

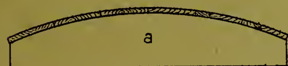


fig. 503.

Il est nécessaire d'avoir assez de ces panneaux cintrés pour que l'on ait toujours 2 ou 3 travées hourdées sur cintres, en arrière de la travée que l'on bâtit. On évite ainsi les poussées et déplacements de solives.

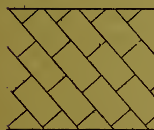
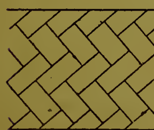
On augmente la résistance de ces voûtes en construisant en briques la partie inférieure de la maçonnerie. Dans les usines on a même l'avantage, par ce moyen, d'éviter les enduits peu solides et d'obtenir, avec un simple jointoyage de la brique, un parement très propre et très résistant.

Pour les petites voûtes, la brique peut être employée à plat suivant l'un des trois appareils de la fig. 504, vus en plan et de dessous.

Le premier est un appareil orthogonal; les briques sont placées en long, parallèlement aux solives et les joints croisés.

Le second est un appareil hélicoïdal, applicable seulement aux faibles flèches et qu'on peut varier de sens d'une travée à l'autre.

Le troisième est un appareil à bâtons rompus, qui ne peut s'employer également que pour des voûtes presque plates.




Fig. 504.

Au-dessus de l'extrados de ces voûtes on com-

plète le remplissage du plancher avec de la maçonnerie de petits matériaux, jusqu'à l'arasement du dessus des fers.

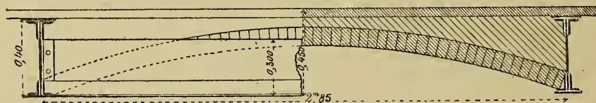


Fig. 505.

Ces voûtes peuvent avoir une grande portée comme dans l'exemple représenté, fig. 505, tiré d'un atelier de filature. où les pièces de fer du plancher sont très résistantes et espacées de 3 m. 00 en 3,00. La voûte qui franchit cette distance est faite en briques pleines très dures et a 0 m. 11 d'épaisseur; le hourdis est fait en ciment à prise lente ainsi que le jointoyage de l'intrados. Le dessus des fers est arasé en béton, et le tout est recouvert d'un dallage en ciment de Portland.

Ces grandes voûtes, lorsqu'elles doivent être fortement chargées, et dans l'exemple elles devaient supporter 600 kg. par m. c., demandent quelques précautions. Il est nécessaire que les travées extrêmes soient fortement contrebutées, soit par un plancher plein d'une surface suffisante, soit par des murs d'une stabilité éprouvée. Dans leur construction il faut avoir un nombre de cintres suffisant pour permettre de ne décintrer une voûte que lorsque les trois ou quatre suivantes sont maçonnées et encore sur leurs panneaux.

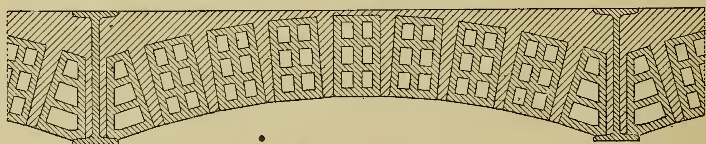


Fig. 506.

Pour de plus petites portées ou des charges plus faibles, on emploie avantageusement la brique creuse.

Le plafond de la voûte est alors enduit parce que la brique ne présente pas la régularité de parement nécessaire pour être apparente fig. 506.

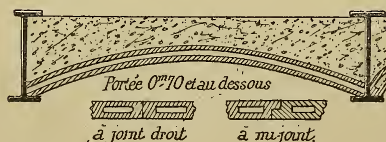


Fig. 507.

On taille la brique pour faire le passage des boulons d'entretoises.

Pour des portées de 0,70 et au-dessous, l'usine Muller d'Ivry fabrique des entrevous creux, cintrés, d'une seule pièce qui s'appuient sur l'aile inférieure des fers. Les joints de deux pièces consécutives se font ou à plat joint ou à mi-joint comme l'indiquent les deux coupes de la fig. 507. Ces entrevous sont bien dressés pour rester apparents, on les emploie soit seuls, lorsqu'il n'y a pas d'étage au-dessus, soit surmontés d'un hourdis qui complète l'épaisseur du plancher.



Fig. 508.

Pour des portées plus grandes, les entrevous se font en deux ou en plusieurs pièces suivant les exemples de la fig. 508; en deux pièces jusqu'à 1 m. 20 d'écartement des solives, en trois pièces pour les intervalles plus grands M. Laporte a établi des poteries creuses voûtées à la partie inférieure et arasant la surface supérieure des fers; pour des portées de 0,60 à 0,70, il y en a trois séries de 2 modèles différents, les poteries de côté et les poteries milieu, fig. 509.

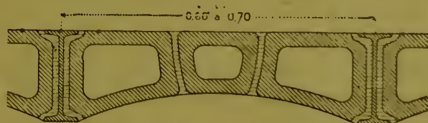


Fig 509.

La flèche, d'une part, le grand vide intérieur de ces poteries, d'autre part, en font un hourdis très léger quoique très résistant.

Ces poteries s'emploient sans entretoises ni boulons, mais elles exigent une bonne butée des travées extrêmes.

294. Evaluation en légers ouvrages des travaux concernant les planchers.

1° *Planchers en bois.* — Hourdis de plancher ou voûte en bois, compris façon en augets cintrés sur le dessus et cintrage en planches dessous ; plâtre et platras fournis, 0 m. 12 d'épais-

seur, mesurée sans déduction de bois et suivant la hauteur réduite entre solives. 0,60
Id. les plâtras non fournis. 0,50
Chaque centimètre d'épaisseur en plus ou en moins.
Plâtras et plâtras fournis. 0,02
Id. Plâtres non fournis 0,01
Lattis espacé de 0,10 d'axe en axe et cloué . . . 0,085
Lattis ou bardeaux jointifs posés, non cloués, pour aire. 0,25
Aire en plâtre de 0,03 d'épaisseur 0,25
Chaque centimètre en plus ou en moins 0,065
Auget ordinaire, ayant au moins 0,02 d'épaisseur au fond 0,41
Auget cintré ayant au moins 0,03 d'épaisseur au fond 0,50
Plus value pour augets en sous-œuvre 0,05
2° *Planchers en fer.* — Hourdis en plâtre et plâtras pour planchers en fer, compris façon des augets cintrés au-dessus et cintrage en planches en dessous.
De 0,08 d'épaisseur réduite entre solives, et sans déduction des fers 0,60
Chaque centimètre en plus ou en moins 0,04
Hourdis comme ci-dessus, mais les plâtras non fournis 0,50
Chaque centimètre en plus ou en moins 0,02
Lambourdes scellées avec tranchées dans l'aire, et sur petits murs 0,17
Id. Scellées sur l'aire avec solin, droit ou cintré de chaque côté 0,33
Id. ayant en plus des chaînes en travers espacées de 0,80 au plus 0,42
Plus-value pour chaque centimètre en plus au-dessus de 0,15 de hauteur de scellement 0,01
Enduit sur plafond et lambris en bois ou en fer. . 0,50
Toutes ces évaluations comprennent les échafaudages nécessaires pour l'ouvrage.

§ 3.

DES VOUTES

295. Des voûtes en général. — Jusqu'ici on a vu les divisions horizontales des bâtiments constituées par des pièces de charpente dont les remplissages en matériaux de maçonnerie viennent d'être étudiés.

Plusieurs exemples ont été donnés de hourdis disposés en forme de voûte pour franchir l'espace généralement très restreint qui sépare deux pièces de charpente. Cet intervalle peut cependant dans quelques cas atteindre 3 mètres et plus. Il faut alors disposer d'une hauteur suffisante pour trouver la flèche nécessaire à la construction de la voûte.

Dans d'autres cas, qui se présentent notamment dans les édifices d'un caractère monumental, on dispose de beaucoup de hauteur à chaque étage, et cette hauteur permet de franchir la distance complète des murs sans aucune pièce de charpente travaillant à la flexion. Les séparations des étages se font au moyen de voûtes entières, reliées aux murs par des appareils convenables, et cette disposition s'applique aux constructions privées dans bien des cas.

Les formes que peuvent prendre ces voûtes varient beaucoup avec la forme des espaces à couvrir, et aussi avec le caractère qu'il convient de donner à l'aspect de la construction. La portée possible des voûtes varie également suivant que les matériaux sont plus ou moins légers, plus ou moins résistants, suivant que les flèches sont elles-mêmes plus ou moins hautes, suivant aussi la valeur de la résistance que les murs qui les reçoivent peuvent présenter à leurs poussées.

Les voûtes remontent à la plus haute antiquité. On n'en trouve que quelques vestiges mal appareillés chez les restes des vieux monuments de la Grèce, mais l'Égypte en donne des exemples dont l'ancienneté est certaine. Les Romains les ont

beaucoup employées et depuis, elles ont permis de couvrir des espaces considérables.

Aujourd'hui on fait peu de grandes voûtes, en raison de la plus grande facilité d'exécution qu'offre le métal. L'emploi du fer dans les constructions à bien restreint leur emploi.

296. Différentes sortes de voûtes.— On distingue plusieurs genres de voûtes qui rentrent dans les catégories bien distinctes qui suivent :

Les voûtes cylindriques ou berceaux.
Les voûtes annulaires.
Les voûtes coniques.
Les voûtes d'arètes et en arc de cloître.
Les voûtes en platebandes.
Les trompes.
Les voussures.
Les coupoles.
Les voûtes en segments sphériques.
Les voûtes croisées ogivales.

Nous allons passer en revue les diverses formes que peuvent présenter ces voûtes.

297. Des voûtes en berceaux : droites, biaises, en descente. — Les voûtes en berceaux ont leur intrados formé par des portions de cylindres posé sur des murs qui leur sont tangents, ou les coupent suivant des génératrices.

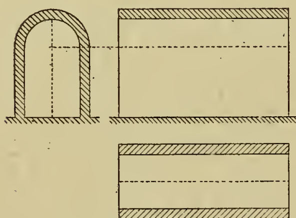


Fig. 510.

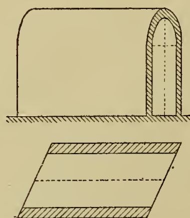


Fig. 511.

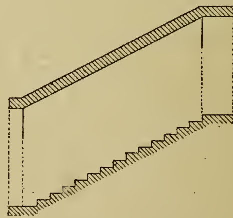


Fig. 512.

Le berceau est dit *berceau droit* lorsque ses génératrices sont horizontales et perpendiculaires au plan de tête. On le nomme *berceau biais* lorsque les génératrices horizontales sont

biaises par rapport au plan de tête ; enfin la voûte s'appelle *voûte en descente* lorsque les génératrices sont inclinées sur l'horizon.

On a surtout l'application des voûtes en descente dans certains genres d'escaliers.

Les fig. 510, 511 et 512, représent les trois genres de voûtes en berceau dont il vient d'être question

298. Matériaux employés. Voûtes en maçonnerie mixtes. Arcs doubleaux. — Les voûtes en berceau peuvent être construites en pierre, mais ce cas se rencontre rarement. Plus souvent, on les exécute en petits matériaux que l'on recouvre d'enduits devant plus tard recevoir une décoration.

D'autres fois on emploie une maçonnerie mixte en formant de distance en distance des arcs plus résistants en pierre de taille, là où la voûte est susceptible de recevoir une charge plus forte, et maçonnant en petits matériaux les intervalles des arcs, et reliant par harpes les deux sortes d'ouvrages. La fig. 513 donne un exemple de cette manière d'exécuter les voûtes en berceau.

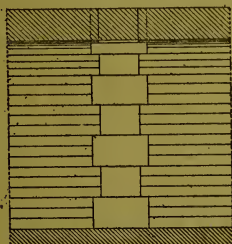


fig. 513.

Au point de vue de la décoration des arcs au moyen de l'aspect des matériaux, ce procédé est recommandable ; mais au point de vue de la résistance, avec les petits matériaux choisis et du bon mortier de ciment on a des voûtes aussi résistantes, sinon plus, qu'en employant la pierre de taille, et bien préférables en raison de leur homogénéité à des ouvrages en maçonneries mixtes.

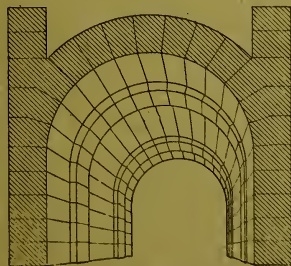


fig. 514.

On remplace souvent les chaînes dont il vient d'être parlé par des surépaisseurs régulières, soit à l'extrados, soit à l'intrados et que l'on nomme des *arcs doubleaux*.

Les arcs doubleaux peuvent être exécutés en pierre de taille.

La pierre qui les compose dépasse leurs plans de tête; elle est taillée suivant un intrados concentrique à celui de la voûte et se relie par harpes avec les matériaux voisins.

Quand la voûte est exécutée en petits matériaux destinés à être enduits, il est avantageux de faire en même temps les arcs doubleaux en employant la même sorte de matériaux.

299. Des voûtes en berceau en plein cintre.—Toutes les fois que l'on a de la hauteur à sa disposition et que le caractère de l'édifice le comporte, on donne aux berceaux le profil d'un plein cintre. Les voûtes s'appareillent par assises longitudinales de voussoirs dont les joints sont des plans qui passent par l'axe du berceau. Lorsqu'on les construit en moellons, on donne ordinairement une épaisseur moindre à la clef qu'aux naissances. On diminue ainsi le poids de la voûte et la

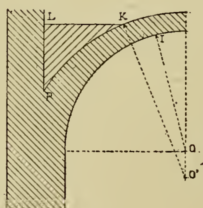


Fig. 515.

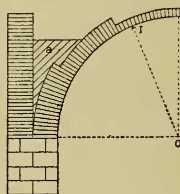


Fig. 516.

poussée qui en résulte sur les piédroits (fig. 515). L'intrados est tracé du point O comme centre avec un rayon égal à OI, tandis que l'extrados a pour centre O′ avec un rayon égal à O′K. On augmente aussi la résistance de la voûte en remplissant le triangle KLP, qui s'appelle le rein de la voûte, avec une maçonnerie qui relie la voûte et le prolongement du piédroit. Lorsque la construction se fait en briques, il est impossible d'augmenter insensiblement l'épaisseur ; on évite de tailler la brique, et on procède par changements d'épaisseur brusques comme pour les murs; la variation est de 0,11 à chaque fois. La fig. 516 représente une voûte en briques ayant 0,11 d'épaisseur au milieu, puis 0,22, puis 0,34 aux naissances. Cette voûte vient reposer sur un mur en moellon

formant piédroit, et qui se prolonge en briques au-dessus des naissances de la voûte. Comme dans le cas précédent, on a avantage à remplir de maçonnerie les triangles *a* qui constituent les reins de la voûte.

300. Berceaux en arcs surbaissés. — Lorsqu'on manque de hauteur on surbaisse les voûtes, soit en donnant une forme d'anse de panier ou d'ellipse à leur courbe directrice, soit en la formant d'un arc de cercle moindre que 180°.

Les voûtes surbaissées donnent une poussée plus grande sur les piédroits que les voûtes en plein cintre, et, parmi les voûtes surbaissées de même montée, la voûte à un centre pousse plus que les autres.

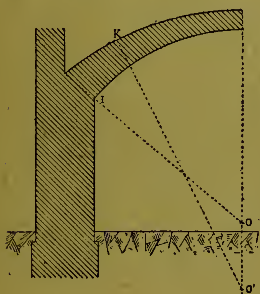


Fig. 517.

Les voûtes surbaissées en arc ont en général une épaisseur moindre à la clef qu'aux naissances ; l'extrados est donc excentré et tracé avec le rayon O'K fig. 517, tandis que l'intrados est tracé avec le rayon OI.

Il est inutile ici de remplir les reins de la voûte comme dans les formes précédentes.

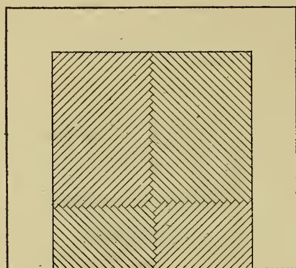
Si la voûte est construite en briques, on change brusquement l'épaisseur par redants de 0,11.

Lorsque la voûte est très plate, c'est-à-dire a une flèche moindre que 0,15 de l'ouverture, on peut, en la construisant en briques, substituer à l'appareil ordinaire, dont les joints prolongés passent par l'axe, un appareil différent, appelé appareil en queue d'hironde, qui donne plus de liaison longitudinale, exige des cintres moins complets et reporte plutôt sur les angles la poussée de la voûte.

Cette construction est fort employée en Allemagne, où les voûtes sont bien plus répandues qu'en France : elle est représentée fig. 518.

On commence la voûte par les angles, et on dirige les rangs de briques sur les cintres suivant des directions obliques à 45° ; chaque rang s'arrête soit aux murs, soit aux axes de la cave. Suivant chaque axe, il y a enchevêtrement des der-

nières briques de directions perpendiculaires. Chaque rang est limité comme longueur et tient dès que ses extrémités sont posées. Le vide milieu va toujours en se resserrant jusqu'à fermeture complète.



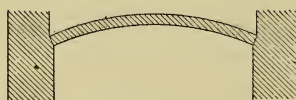


Fig. 518.

On conçoit que le moindre support en charpente légère, et même discontinu, suffit pour exécuter une pareille voûte.

Cet appareil est avantageux lorsque la portée ne dépasse pas 4 mètres.

On peut dans quelques cas diviser de grands espaces à couvrir en travées de 4 m. au plus séparées par des arcs doubleaux, et établir une voûte, comme il vient d'être dit, sur chacune des divisions.

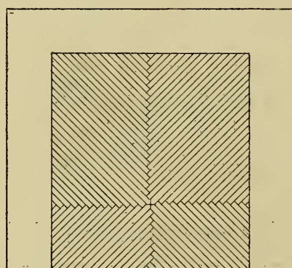


Fig. 519.

Une disposition inverse peut être prise lorsque les murs s'arrêtent aux naissances et que la construction est faite en plâtre; elle est représentée fig. 519. Les axes une fois tracés, on part de leur intersection en dirigeant les joints dans les sens voulus à 45°. Si les joints sont en plâtre, il faut tenir compte de la poussée; on ne raccorde les naissances que lorsque le gonflement n'est plus à craindre.

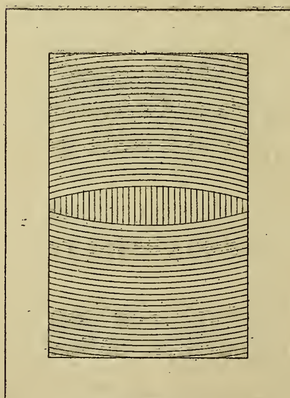


Fig. 520.

Enfin, une quatrième méthode d'appareiller la brique est encore très employée en Allemagne. C'est l'appareil appelé *annulaire*, dans lequel les joints continus sont dirigés transversalement

comme le montre la fig. 520; il présente l'avantage d'offrir une ligne de rupture moins facile, d'avoir des joints continus moins longs. On peut l'exécuter avec un cintre rudimentaire que l'on déplace à mesure qu'on avance. Les assises étant légèrement concaves, on remplit le vide lenticulaire restant à la fin par quelques briques placées en long.

301. Des voûtes en berceau ogivales. — Quand on veut donner à la voûte plus de montée que la demi-portée, on donne à la courbe directrice la forme d'une ogive. On emploie cette forme principalement dans des nefs d'églises. La poussée est alors moindre que celle que donnerait une voûte en plein cintre de même ouverture.



Fig. 521.

Généralement, ces sortes de voûtes sont séparées à toutes les travées de la construction par des arcs doubleaux qui viennent reposer sur les piliers de la construction. La fig. 521 donne en coupe longitudinale et en coupe transversale la disposition d'une petite église voûtée de cette façon à la partie supérieure.

L'emploi de voûtes venant ainsi s'appuyer à la partie haute des murs de la nef centrale détermine une poussée, à laquelle ils ne sauraient résister en raison de leur hauteur. On doit donc, pour rétablir leur stabilité, les soutenir du dehors au

moyen de contreforts. Ces contreforts existent à chaque travée en *ab*, et sont compris dans la construction des bas-côtés.

La construction de cette voûte ogivale se fait à la manière des voûtes en berceau ordinaires, soit toute en petits matériaux d'épaisseur convenable pour la stabilité, soit au moyen d'arcs en pierre à l'endroit des doubleaux, avec remplissage des intervalles par des petits matériaux liés aux premiers. La décoration peut consister dans l'appareil au moyen des joints accusés et dans le profil des arcs doubleaux qui varie avec le caractère spécial de l'édifice.

302. Voûtes en berceau avec lunettes. — Les berceaux sont souvent pénétrés par d'autres voûtes de moindre hauteur. On dit alors que les voûtes sont *des berceaux avec lunettes*.

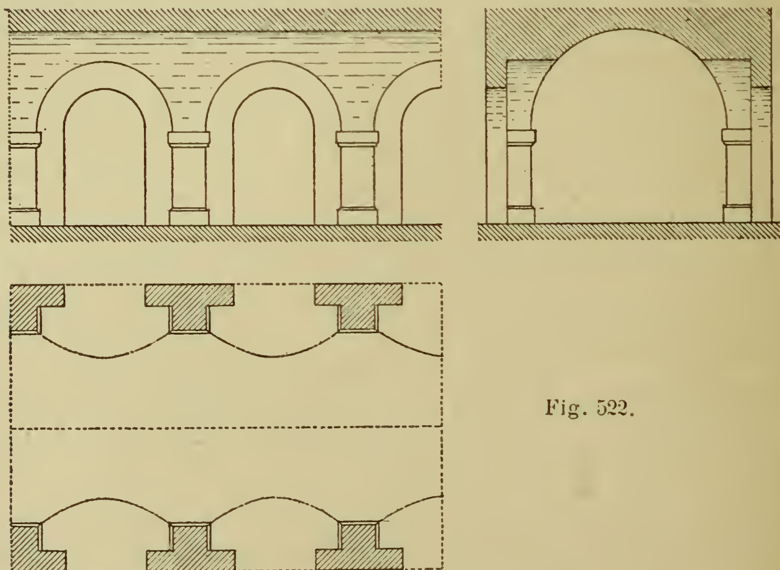


Fig. 522.

Ces pénétrations de lunettes peuvent avoir pour objet, soit de donner accès à un local voisin, soit d'aboutir à une baie d'é-

clairage, soit enfin de reporter simplement tout le poids de la voûte sur certains points plus résistants.

La fig. 522 montre en plan, coupe longitudinale et coupe transversale un berceau avec lunettes donnant accès à une série de baies. — Pour donner plus de largeur devant chaque baie, les lunettes sont plus larges que les portes, et ces dernières sont placées dans un mur plus mince, avec lequel font corps les piliers qui supportent la voûte.

303. Ouvertures de passages dans les voûtes en berceau. — On a souvent besoin de percer des ouvertures dans les berceaux qui séparent les différents étages des édifices, soit pour l'éclairage, soit pour le passage d'un escalier, d'un montecharge ou pour toute autre raison. Il faut étudier ces ouvertures avec soin et éviter qu'il n'en résulte une trop forte diminution dans la résistance. Si les ouvertures sont grandes, il faut leur donner une forme géométrique et étudier la pénétration avec la voûte, de telle sorte que l'appareil permette de trouver des points d'appui pour les parties qui ont besoin d'être soutenues. Si les ouvertures sont petites, il faut les limiter par des arcs reliant d'une façon continue les matériaux interrompus. Autant que possible, on se rapproche pour la forme de l'orifice d'une portion ou de la totalité d'un cercle. Si on doit se restreindre à la forme rectangulaire, on peut avoir recours à un châssis de cette forme, en fonte ou en fer, assez rigide pour remplacer les matériaux disparus.

La fig. 523 représente une voûte en arc à un centre qui vient retomber sur un mur de face. Des ouvertures un peu hautes obligent à interrompre la voûte sur une petite longueur. On maintient les matériaux interrompus par un arc un peu plus épais, et on le dispose pour recevoir une voûte de pénétration relevée allant au-dessus de la baie. C'est ainsi que l'on établit les éclairages pour soupiraux dans les voûtes de cave ; pour tout autre genre de baie, on suit le même principe.

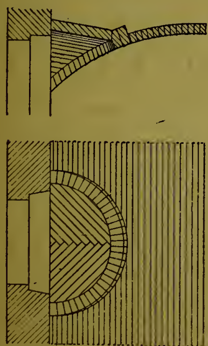


Fig. 523.

304. Voûtes d'arêtes. — Lorsque les voûtes qui se pénètrent ont leurs axes dans un même plan horizontal et la même hauteur, on obtient une voûte spéciale que l'on nomme *voûte d'arête* quand les angles de rencontre des intrados sont saillants. Lorsque les voûtes sont des pleins cintres égaux, les intersections se projettent en plan suivant les diagonales du carré de rencontre, *abcd*, fig. 524. Cette figure représente une galerie percée d'une série d'ouvertures donnant au dehors, de même diamètre et de même montée que la voûte longitudinale ; dans chaque travée, il y a donc une intersection ainsi formée qui se projette suivant les diagonales *ad*, *cb*.

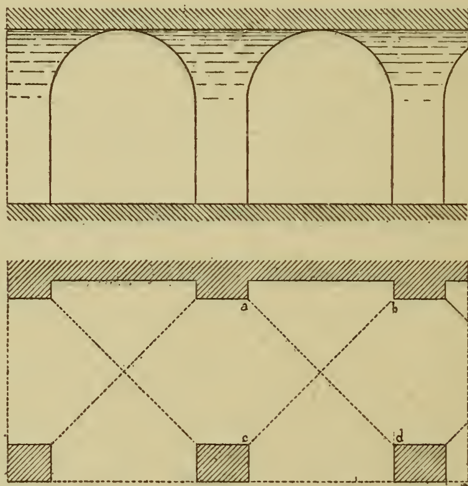


Fig. 524.

Si les voûtes sont d'inégale largeur, mais ont leur montée commune, les intersections se projettent encore suivant deux droites, diagonales du rectangle, si on prend des cylindres elliptiques. Si au contraire les voûtes sont des courbes quelconques, on s'astreint à déterminer la section droite de la seconde, d'après le profil de la première, par la condition que les arêtes se projettent en plan suivant des lignes droites diagonales du rectangle de rencontre.

Les berceaux qui se rencontrent en formant des voûtes d'arêtes peuvent être formés de voûtes surbaissées à un centre.

C'est une forme très fréquemment employée et que représente en plan et en coupe longitudinale la fig. 525.

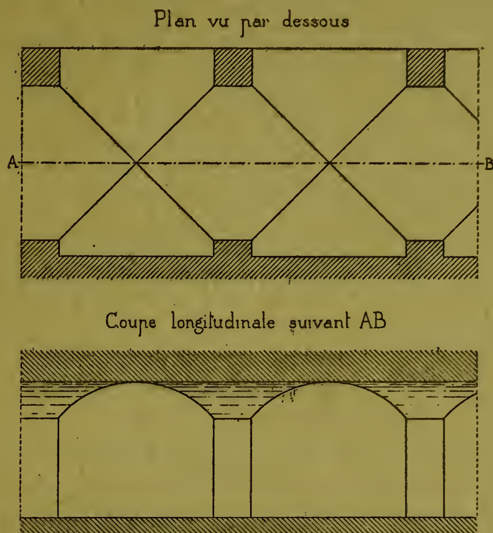


Fig. 525.

305. Voûtes d'arêtes avec arcs doubleaux. — Les voûtes d'arêtes peuvent se combiner avec des arcs doubleaux venant circonscrire et encadrer les parties en pénétration.

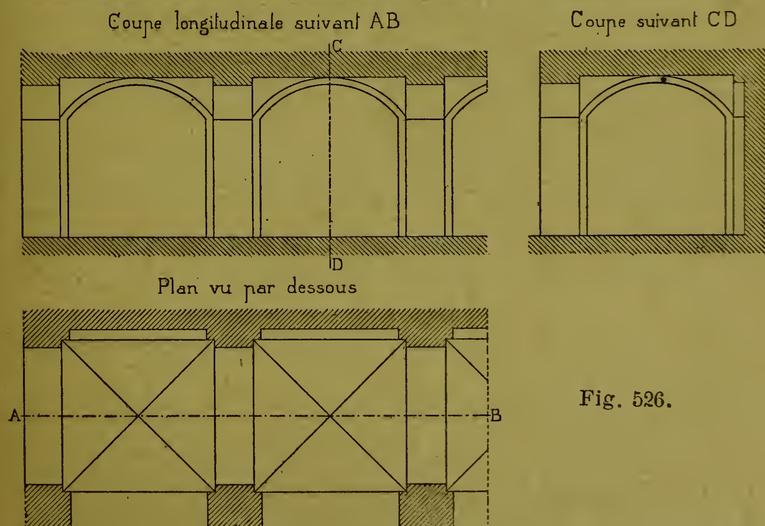
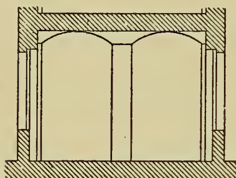


Fig. 526.

La fig. 526 en donne un exemple. Elle représente une galerie formant portique en avant d'un bâtiment. Les entraxes de la construction divisent le portique en travées égales, et à chaque trumeau correspond un double pilastre intérieur, portant un arc doubleau en saillie ; d'autres arcs ferment les baies de la façade et sont répétés symétriquement sur le mur du fond.



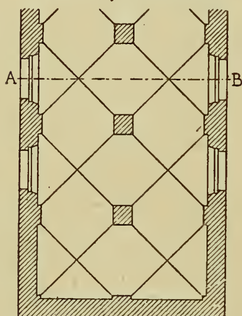


Fig. 527.

Les espaces restés libres entre les arcs doubleaux sont carrés et couverts par des voûtes d'arête dont le plan vu par dessous indique les intersections à angle vif. Cette disposition, plus compliquée que la précédente, est très décorative. Elle se prête à une construction soit en pierre soit en maçonnerie simple.

306. Voûtes d'arêtes sur murs et piliers. — Les voûtes d'arêtes peuvent s'employer dans les édifices pour séparer deux étages successifs, et, pour les bâtiments larges, on facilite la construction en portant ces voûtes à la fois sur les murs extérieurs et sur des piles intermédiaires toutes les fois que l'établissement de ces piles ne gêne pas. La fig. 527 rend compte de cette disposition.

Le plan est vu par dessous et la coupe suivant AB montre l'arrangement et la pénétration de ces voûtes. De légers pilastres adossés aux murs extérieurs, avec lesquels ils font corps, donnent un aspect agréable à la série de voûtes d'arêtes qu'ils reçoivent.

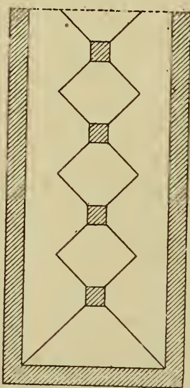


Fig. 528.

Les murs du bâtiment peuvent être continus et sans pilastres en saillie. Le berceau s'appuie alors uniformément sur les murs extérieurs; les pénétrations se simplifient et se réduisent aux lignes indiquées dans la fig. 528.

307. Application à un réservoir d'eau. — On se sert souvent de voûtes pour construire des séparations d'étages de grandes surfaces. Les grands réservoirs d'eau des villes offrent des applications de ces sortes de voûtes ; la fig. 529 représente une portion d'un réservoir ainsi construit.

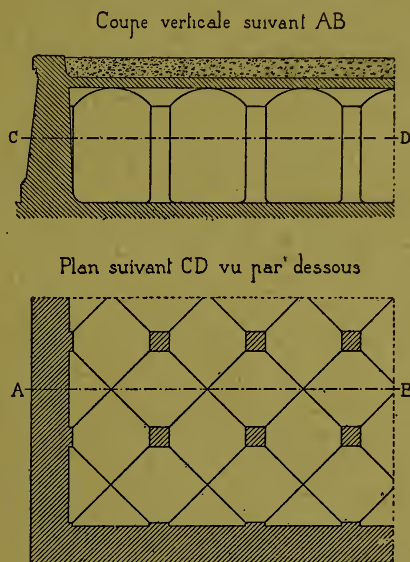


Fig. 529.

La surface à couvrir est garnie de piliers régulièrement disposés, espacés de 4 à 6 m. les uns des autres et deux séries de voûtes plates se coupant à angle droit reportent toute la charge sur les points d'appui ainsi créés.

La charge consiste dans le poids propre des voûtes et dans une couche de terre végétale destinée à recevoir un gazonnement.

L'extrados des voûtes est recouvert d'un enduit imperméable que l'on appelle une chape. Celle-ci est exécutée en mortier de ciment ; elle est destinée à protéger la maçonnerie des voûtes contre les infiltrations supérieures.

308. Voûtes en arc de cloître. — La forme de voûte en arc de cloître est obtenue également par la pénétration de

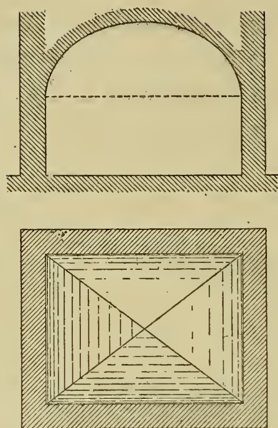


Fig. 530.

berceaux cylindriques de même montée et dont les axes horizontaux se rencontrent. Elle diffère de la forme de voûte d'arête en ce que l'on y conserve justement les portions de génératrices qui dans cet autre cas sont supprimées, et aussi en ce que les angles sont rentrants au lieu de former des arêtes saillantes. Par son mode même de génération, la voûte en arc de cloître est une voûte fermée, comme le montre la représentation en plan et en coupe longitudinale de la fig. 530.

De même que pour les voûtes d'arête, on prend des profils

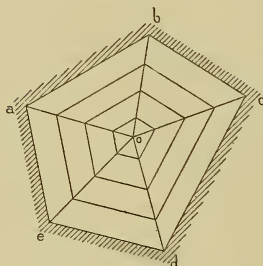
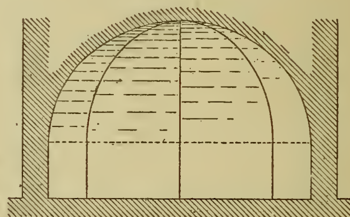


Fig. 531.



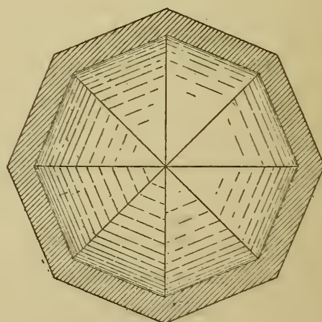


Fig. 532.

de voûtes tels que les intersections puissent se projeter en plan suivant les diagonales de l'espace à couvrir.

La figure précédente s'applique à un espace rectangulaire ; mais on peut couvrir ainsi un polygone quelconque, régulier ou irrégulier. — Soit le polygone irrégulier *a b c d e* (fig. 531). On trace l'une des portions de voûte correspondant à l'un des côtés *ab* et que sou-

vent on nomme un *onglet*, on l'arrête aux lignes *oa* et *ob* et on détermine successivement l'onglet *bco* par la condition que la génératrice reste parallèle à *bc* et s'appuie constamment sur la ligne *bo*, et ainsi des autres onglets, le point *o* étant quelconque d'ailleurs.

Mais la couverture en arc de cloître ne convient réellement comme aspect satisfaisant qu'au rectangle et aux polygones réguliers.

La fig. 532 représente en plan vu de dessous et en coupe longitudinale un bâtiment octogone régulier, couvert ainsi par huit onglets d'une voûte en arc de cloître dont la montée est plus petite que l'ouverture de la voûte.

309. Des jours dans les voûtes en arc de cloître. — La voûte en arc de cloître peut se tenir en équilibre sans qu'elle soit fermée à sa partie supérieure. Pour laisser un jour au sommet, il suffit que les asises des divers onglets s'accordent ensemble, et que l'on ait arrêté la construction à l'une de ces assises près du sommet. Le jour ainsi ménagé a ses angles posés sur les arêtes d'intersection. La voûte en plan vu de dessous présente alors l'aspect indiqué dans la fig. 533.

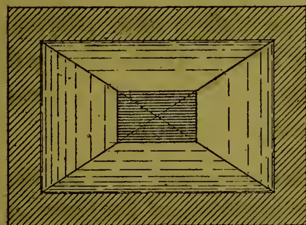
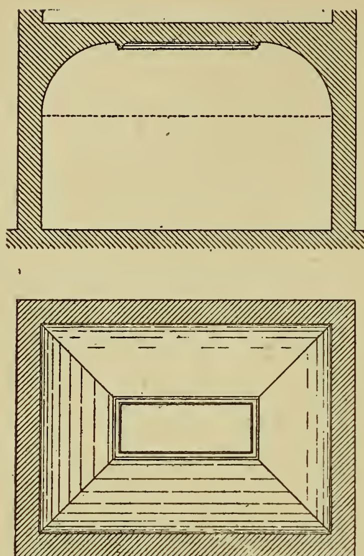


Fig. 533.

Pour que la stabilité soit suffisante, il faut que le développement de ce jour soit restreint. Le dernier rang de moellon de chaque onglet ne tient, en effet, qu'à la condition de former une voûte en platebande suffisamment résistante pour se tenir en équilibre et recevoir sans faiblir la poussée des voussoirs précédents. Si le développement de cette voûte est considérable, il faut que ces voussoirs soient appareillés en voûte plate dans le sens nécessaire pour combattre la poussée de l'onglet.

310. Voûtes en arc de cloître avec plafond. Plafond avec voussure. — On combine souvent aussi la voûte

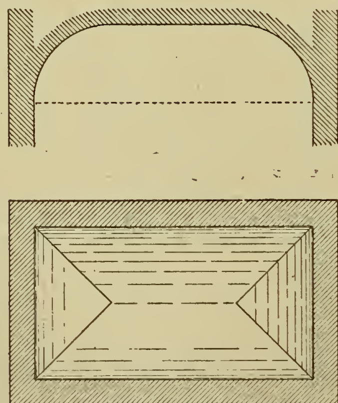

Fig. 534.

en arc de cloître avec un plafond horizontal. Chaque onglet est alors formé par un demi-cercle glissant sur la ligne des naissances des diverses faces se raccordant verticalement avec le nu des murs et horizontalement avec le plafond qui ferme la voûte, et dont on le sépare par une petite moulure, fig. 534.

Il y a des cas où il peut y avoir avantage à donner un léger cintre à ce plafond milieu.

Lorsque la partie courbe domine dans ces sortes de voûtes, on les nomme *voûtes en arc de cloître avec plafond.* Lorsqu'au contraire le plafond a plus d'importance, la partie curviligne se rapproche d'une grande corniche et l'on donne à l'ouvrage la dénomination de *plafond avec voussure.*

311. Voûte en arc de cloître barlongue. — Lorsque l'espace à couvrir est plutôt long par rapport à sa largeur, on peut modifier la voûte en arc de cloître de la façon suivante, qui porte le nom de voûte *en arc de cloître barlongue.*


Fig. 535.

L'espace donné est recouvert d'un berceau dans toute sa partie milieu, et la demi-génératrice est retournée aux extrémités de manière à produire deux demi-voûtes en arc de cloître.

Cette disposition ne s'accommode pas, comme aspect, de formes basses. Le profil du berceau est en plein cintre ou formé par une courbe elliptique élevée.

312. Voûtes en plate-bande. — De même que dans les murs on remplace souvent les arcs par des plates-bandes, de même quelquefois on a à appareiller une véritable voûte plate, pour couvrir un certain espace avec un intrados plan.

Il est nécessaire que les piliers ne soient pas trop écartés pour assurer à l'ouvrage une stabilité suffisante. Plusieurs cas peuvent se présenter.

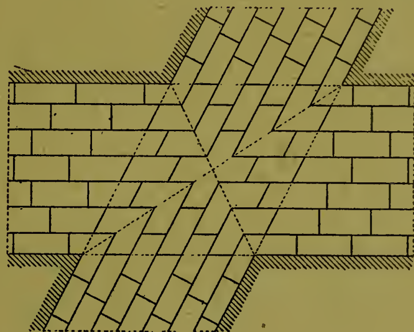


Fig. 536.

L'espace à couvrir peut former deux galeries (fig. 536) venant se croiser sous un angle quelconque. On les divise toutes les deux en un même nombre impair de voussoirs et on mène les joints longitudinaux parallèles aux piédroits. Aux points de croisement les pierres sont taillées en harpes pour appartenir à la fois aux deux voutes et les mieux relier. Quant aux joints transversaux, ils peuvent être au point de croisement dans le prolongement des joints longitudinaux de l'autre voûte, partout ailleurs ils sont tracés d'équerre aux joints en long et croisés.

Cette disposition correspond à la limite des voûtes d'arête lorsque la flèche devient nulle.

Si l'espace à couvrir d'une voûte plate est limité soit par des murs, soit par des arcs doubleaux, on peut tracer autrement les voussoirs.

La fig. 537 montre le plan vu par dessous de l'appareil à employer. Les sommiers sont taillés, au pourtour de la pièce dans les murs ou les arcs qui ferment les baies; ils sont disposés le long de chaque direction pour recevoir le premier rang de claveaux, et la voûte se continue par des sortes de châssis rectangulaires concentriques, celui du milieu se réduisant à une seule pierre, le voussoir de clef.

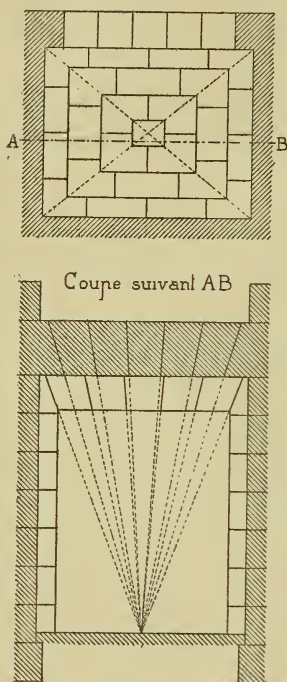


Fig. 537.

Les pierres d'angle de chacun de ces châssis se retournent, de manière à participer à la fois aux deux rangées à angle droit.

Cet appareil, qui correspond à celui des voûtes en arc de cloître lorsque la flèche devient nulle, permet comme dans ces voûtes de laisser libre le milieu soit pour un passage, soit pour l'éclairage.

La même figure donne la coupe suivant le plan vertical AB.

Elle montre les joints des divers voussoirs, tant de la voûte plate que de la plate-bande qui vient fermer la baie à l'assise immédiatement inférieure.

Dans les monuments imités des Grecs et formés d'une colonnade en avant d'un mur de face, le plafond de l'intervalle à hauteur de l'architrave est fait d'une surface ainsi appareillée en pierre lorsque l'on ne peut l'avoir d'une seule pièce.

Il faut prévoir dans l'emploi de ces sortes d'ouvrages la poussée qui est fort considérable et l'annuler au moyen de chainages convenables si les murs ou les supports n'ont pas par eux-mêmes une stabilité suffisante. Il y a lieu également de prévoir dans certains cas le glissement des voussoirs et de s'y opposer par des chainages préventifs convenablement disposés.

313. Voûtes annulaires. — Ce sont des voûtes engendrées par le mouvement d'une courbe verticale assujettie à

suivre par une de ses extrémités une directrice courbe horizontale, son plan étant, dans chacune de ses positions, normal à la directrice.

Si la directrice est un cercle, la figure géométrique est un tore. Le tore peut être circulaire si la génératrice elle-même est un cercle, fig. 538.

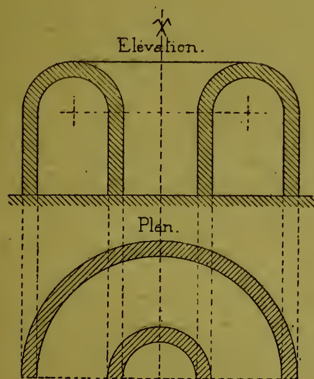


Fig. 538.

Dans les anciens amphithéâtres les porches voûtés avaient pour génératrices des cercles et pour directrices des courbes ovales. Ces voûtes sont rangées dans la catégorie des voûtes annulaires.

314. Voûtes annulaires en descente. Vis St Gilles. — Les voûtes annulaires peuvent être à la fois disposées en descente, pour recouvrir ou soutenir des révolutions d'escaliers tournants par exemple. Elles sont formées par un arc vertical dont un des points est assujetti à suivre une courbe héliçoïdale tracée sur le mur intérieur ou noyau et dont le plan passe toujours par l'axe de ce noyau s'il est circulaire, ou bien est toujours normal à la projection horizontale de l'hélice s'il a une autre forme.

Ce genre de voûtes prend le nom de voûtes annulaires en descente ou de *vis St-Gilles*.

315. Voûtes coniques. — Les voûtes coniques ne trouvent que peu d'applications directes dans les constructions; tout au plus peut-on ranger dans cette catégorie certains clochers en pierre. Mais dans les raccords et pénétrations de voûtes on emploie souvent ces sortes de constructions.

316. Lunettes coniques. — La fig. 539 montre deux pénétrations coniques dont les sommets sont extérieurs en O et O′ et qui permettent d'éclairer la pièce principale jusqu'en haut du berceau qui la couvre. Ces voûtes peuvent former directement les ébrasements mêmes des baies d'éclairage,

ou être concentriques à ces ébrasements, et c'est le cas qui se trouve représenté fig. 539.

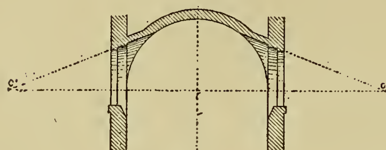


Fig. 539.

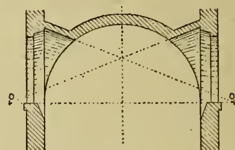


Fig. 540.

Le cône qui forme l'ébrasement de la baie peut être disposé d'une façon inverse, c'est-à-dire le sommet du cône à l'intérieur, quand au contraire c'est le bas de l'espace couvert qui est principalement à éclairer (fig. 540).

Pour passer insensiblement de la première de ces dispositions à la seconde, il y a un point intermédiaire où la voûte conique devient cylindrique. C'est le moment du changement de côté du sommet du cône.

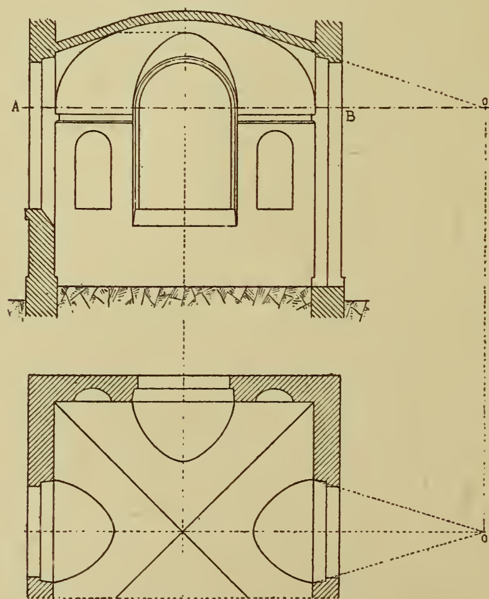


Fig. 541.

La fig. 541 donne la représentation en plan et en coupe

d'un pavillon carré comprenant une pièce à rez-de-chaussée couverte d'une voûte en arc de cloître dont la génératrice est une anse de panier.

Le milieu de chaque face est percé d'une baie terminée supérieurement par un arc en plein cintre.

Trois de ces baies sont des fenêtres pour l'éclairage ; la 4e forme la porte.

Les fenêtres et la porte ont un ébrasement et en dehors une pénétration conique, avec sommet extérieur en O, vient concourir par l'évasement qu'elle produit à l'éclairage de la voûte. Un léger bandeau d'imposte sert au pourtour à recevoir la retombée des onglets de l'arc de cloître.

On verra plus loin l'emploi de voûtes coniques pour passer facilement d'un plan carré d'une salle à un plan octogonal superposé.

317 Voûtes conoïdes. — La voûte conoïde est engendrée par une droite astreinte à rester parallèle à un plan donné et à suivre deux directrices dont l'une est droite et l'autre courbe. Dans les cas pratiques, en général, le plan est horizontal et la directrice rectilique est verticale ; l'autre est une courbe quelconque, quelquefois un demi-cercle.

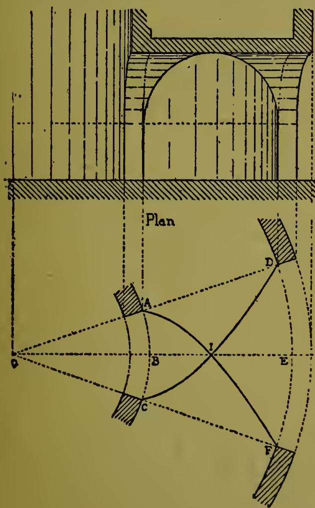


Fig. 542.

Lorsque dans une voûte annulaire on veut percer une série de voûtes rayonnantes en pénétration, pour avoir des retombées horizontales en même temps que des clefs de voûtes également horizontales, on prend comme voûtes de pénétration des conoïdes.

Ces conoïdes sont engendrés par une droite horizontale, qui s'appuie sur l'axe de la voûte annulaire et sur le profil d'une baie tracée sur le parement du mur extérieur.

Il en résulte une combinaison de voûtes connue sous le nom de voûte d'arêtes en tour ronde. Elle est représentée fig. 542.

OO′ est l'axe de la voûte annulaire ou tour ronde. Cette dernière est comprise entre les deux murs circulaires partiellement représentés en plan par les lettres ABC, DEF. Sur le parement extérieur du mur DEF, on a tracé une baie DF suivant un profil déterminé et avec la hauteur de la voûte circulaire. Ce profil d'une part, et l'axe O, vertical, d'autre part, servent de directrices à la génératrice horizontale de la voûte conoïde qui forme la pénétration, et les arêtes d'intersection se projettent en plan suivant les courbes DIC et AIF.

318. Trompes. Des trompes sur murs droits. — On peut ranger parmi les espèces de voûtes les constructions qui portent le nom de *trompes*. Ce sont en effet des portions de voûtes dont les voussoirs sont placés en porte à faux, en *encorbellement* comme l'on dit, et ont à soutenir les murs en saillie d'une construction extérieure.

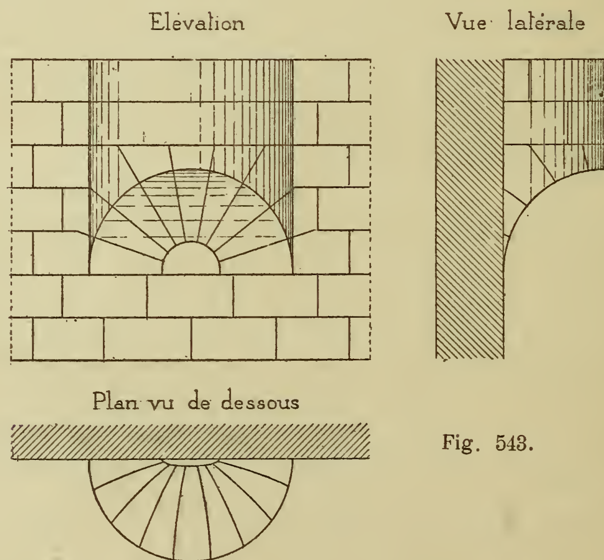


Fig. 543.

Les trompes peuvent être établies sur murs droits ou sur les angles, soit saillants soit rentrants, des constructions. Au moyen âge on en a fait de fréquentes applications.

Le premier exemple consiste à porter en dehors d'un mur une tourelle demi cylindrique comme celle de la fig. 543, représentée en plan, élévation, et vue latérale.

L'une des manières d'appareiller cette trompe est d'établir en première assise un trompillon autour duquel des voussoirs en éventail produisent une voussure inférieure, font partie du mur droit et portent à leur extrémité le mur circulaire qui compose la tourelle et que l'on fait le plus léger possible. Des chaînages supérieurs retiennent la tourelle et la relient aux voûtes ou planchers de la construction principale.



Fig. 544.

Une deuxième manière de soutenir ainsi une tourelle en saillie consiste à mettre les unes sur les autres des assises de pierres dures en encorbellement, se soutenant successivement: la dernière est de la dimension de la tourelle et reçoit directement son mur circulaire.

L'ornementation au lieu de résider dans un appareil de coupe de pierre consiste en une suite de moulures plus ou moins ornées et détaillant les saillies de plus en plus grandes de la construction. Il en résulte une forme de cul de lampe, très dif-

férente de la voussure précédente. Comme exemple de ce genre de trompe la fig. 544 donne l'élévation d'une tourelle du musée de Cluny, dont l'encorbellement vient prendre appui sur le tympan séparant deux baies ogivales successives. Cette construction est très élégante par suite de sa forme et de sa position originale.

319. Trompes sur les angles saillants. — Les trompes

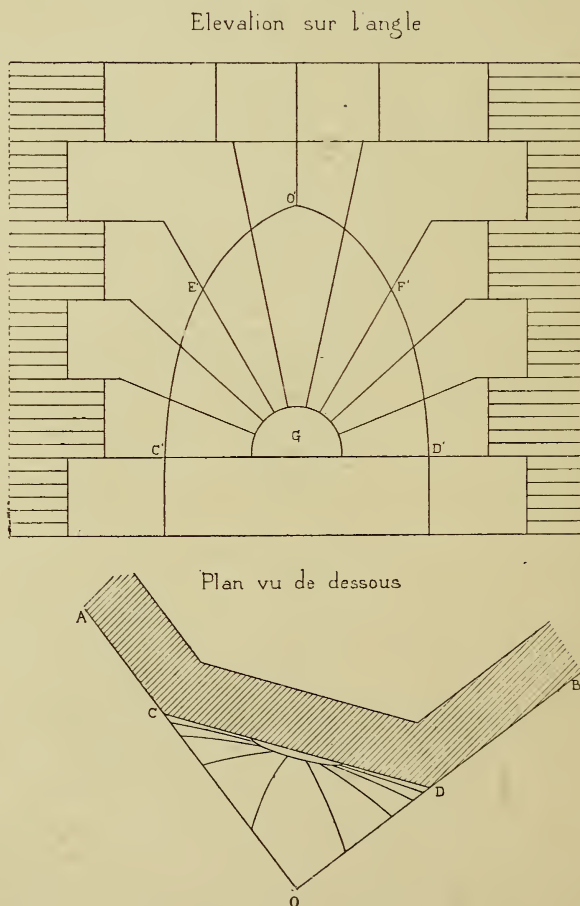


Fig. 545.

sur les angles saillants peuvent avoir pour objet d'effacer

l'angle d'une construction à rez-de-chaussée, alors qu'on le conserve à la partie haute. Soit l'angle d'un bâtiment AOB en plan. Supposons qu'à rez-de-chaussée on ait intérêt à le tronquer suivant la ligne CD quelconque (fig. 545); on interrompt la construction des deux murs AO, BO en C et en D et on les relie par le mur transversal CD. On a donc effacé ainsi l'angle gênant. Il s'agit à une certaine hauteur de reconstituer l'angle O et de le soutenir le mieux possible. Pour cela, sur l'assise C′D′ du mur transversal, on pose un trompillon G, et, autour de ce trompillon on dispose des voussoirs en éventail qui feront partie à la fois du mur transversal et des murs à établir en surplomb. Ils forment une voussure qui vient couper les deux faces du bâtiment suivant les arcs C′E′O′ et D′F′O′. Le point de jonction O′ sert de point de départ de l'arête d'intersection des deux faces surélevées.

Il est bon de compléter la liaison des assises supérieures à la trompe par des chaînages en fer bien exécutés et se rencontrant au point de jonction des deux murs, où on leur réserve un liaisonnement très soigné.


Fig. 546.

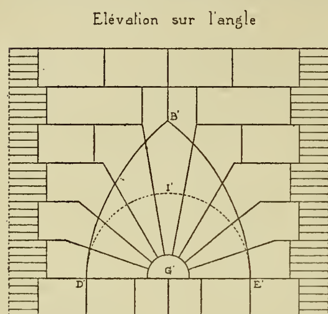
Les trompes sur les angles saillants peuvent encore avoir pour objet de soutenir une tourelle en saillie sur l'angle, ainsi que le représente la fig. 546.

La construction se fait alors en forme de cul-de-lampe par assises superposées en encorbellement les unes sur les autres.

On fait la mouluration du profil pour accuser les encorbellements et leur donner la force apparente de porter la construction hors d'aplomb.

320. Trompes sur les angles rentrants. — Soit un bâ-

timent dont les alignements voisins AB, BC concourent en B (fig. 547). Supposons qu'au rez-de-chaussée ces deux murs soient arrêtés en D et en E et soient brisés suivant deux directions parallèles aux premiers alignements, concourant en G.



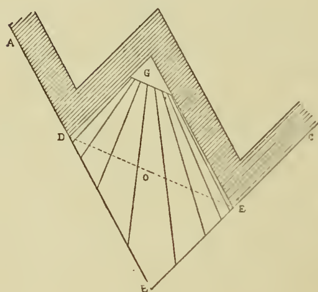


Fig. 547.

On forme ainsi un angle rentrant. Il s'agit, au-dessus de cette construction, de rétablir et de soutenir les deux alignements supérieurs.

Les deux droites DE et GB sont les diagonales du parallélogramme DGEB et elles se coupent en leurs milieux respectifs en O. DE peut être considéré comme la trace horizontale d'un plan vertical contenant la directrice. On peut même choisir cette directrice de telle sorte qu'elle se projette verticalement suivant le demi cercle D'I'E', et on engendrera une voûte conique par le mouvement d'une droite assujettie à passer toujours par le sommet GG' et à s'appuyer sur la directrice que nous venons de déterminer.

Pour l'exécution on divise le demi-cercle D'I'E' en un nombre impair de voussoirs, et on trace les joints. On obtient facilement les courbes D'B' et E'B', intersections du cône avec les faces des deux murs supérieurs, et on établit dans ces deux faces les têtes des voussoirs et leurs liaisons avec les matériaux voisins. Sur cette trompe conique, on vient porter le restant de la construction, en ayant soin de consolider les assises par des chaînages bien établis et bien jonctionnés dans l'angle.

La fig. 548 représente une disposition originale tirée d'une aile du château d'Ormesson. Cette aile forme un pavillon saillant, porté par une double console très solide et très déve-

loppée perpendiculairement au mur de face inférieur. Il en résulte deux angles rentrants qui sont remplis par deux trompes coniques juxtaposées. Chacune d'elles est disposée comme celle de la fig. 547, avec cette simplification que les angles rentrants sont droits. Les têtes de voussoirs sur les murs de face forment des archivoltes moulurées terminées au sommet par une clef sculptée. La base des murs forme les tympans de ces trompes. Les baies ne sont pas percées dans l'axe du pavillon et leur axe prolongé a été pris pour l'établissement des consoles; il en est résulté une dissymétrie de l'ensemble et une inégalité marquée dans la grandeur des trompes. Néanmoins l'aspect d'ensemble est satisfaisant et très intéressant.


fig. 548.

321. Voussures. — Les voussures ou arrière-voussures sont des voûtes qui recouvrent l'embrasure au-dessus des baies cintrées percées dans des murs épais. Elles s'établissent de manière à permettre aux menuiseries ouvrantes, dont le milieu est surélevé par le cintre, de se développer complètement sans frotter en plafond.

La fig. 549 en donne un exemple ; elle repré-

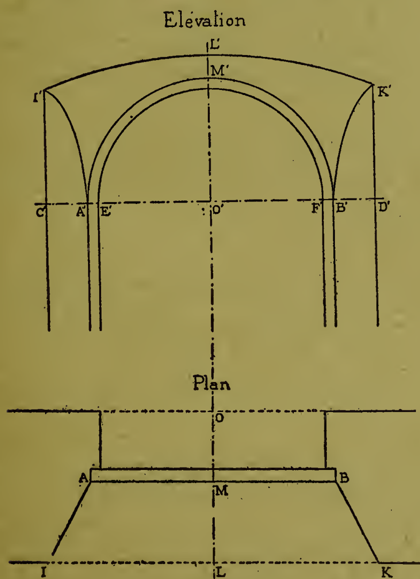


Fig. 549.

sente en plan et en élévation vue de l'intérieur, une porte percée en plein cintre. Le tableau et la feuillure sont recouverts par des berceaux, l'embrasure seule va demander une voûte spéciale qui sera l'arrière voussure.

Voici comment on peut engendrer sa surface :

On mène $C'I' = D'K' = O'M'$. On prend arbitrairement $M'L'$ et on fait passer un cercle $I'L'K'$. C'est l'arc de tête de la voussure.

On mène dans chaque ébrasement un arc de cercle passant par I' et tangent en A' à l'arête verticale de la feuillure. Ce sera l'intersection de la voussure avec l'ébrasement.

Enfin, on décrit la surface concave de cette voussure au moyen d'un arc de cercle, à plan vertical, à rayon variable, astreint à rester toujours parallèle au parement du mur et assujetti à rencontrer constamment les cercles IA, BK et la droite ML.

Cette sorte de voussure porte le nom d'*arrière voussure de Marseille*.

On remplace généralement cette construction par une surface engendrée par une droite astreinte à rencontrer : 1° l'axe horizontal OO'; 2° l'arc de la feuillure $A'M'B'$, et enfin l'arc de tête $I'K'L'$. Ce dernier étant assez élevé pour que $C'I' > O'M'$.

L'arrière voussure dite *de Montpellier* ne diffère de celle qui vient d'être décrite qu'en ce que l'arc de tête se trouve remplacé par une droite horizontale.

322. Coupoles. Coupole en arc de cloître sur plan polygonal. — Les *coupoles* sont des voûtes fermées, de hauteurs considérables, construites sur un polygone ou une courbe fermée continue. On réserve le nom de *dôme* à la silhouette extérieure d'une coupole.

Lorsque la voûte est construite sur un polygone, elle constitue une véritable construction en arc de cloître ayant une montée de grande dimension.

Le polygone peut partir du sol, et, dans ce cas, la construction est très simple. A chacun des côtés du polygone correspond un onglet cylindrique, séparé des onglets voisins par une arête rentrante.

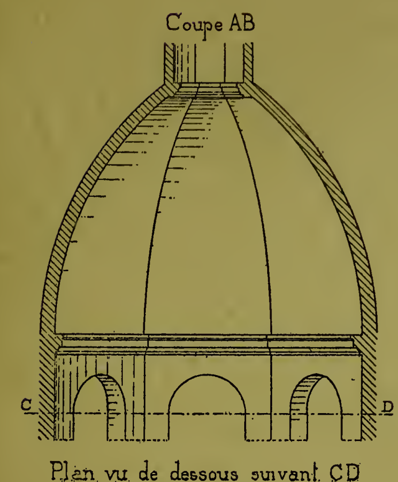


Fig. 550.

La fig. 550 donne en plan et en coupe verticale une coupole disposée ainsi sur plan polygonal, le mur de soutien ayant même forme depuis le sol. Dans chacun des pans de ce mur est percée une baie en plein cintre, et une corniche sépare le mur et la voûte à la naissance de celle-ci et lui sert de sommier en même temps que de raccord.

Le plan est fait suivant la trace CD, il coupe les baies et montre la coupole vue de dessous ; à la partie haute, la coupole est tronquée et percée d'un jour que surmonte une lanterne dont on voit l'amorce dans la coupe verticale. Une petite corniche appropriée termine les onglets de la coupole à leur partie supérieure et orne l'anneau qui reçoit la lanterne.

323. Coupole sur plan carré; voûtes, trompes, pendentifs. — La forme même de l'édifice peut amener à construire une coupole polygonale sur un plan carré, et on a souvent résolu la question en ramenant d'abord le plan à être polygonal avant la naissance de la voûte.

On peut passer d'un plan carré à un plan polygonal, à un octogone ordinairement, en soutenant les côtés qui tronquent le carré au moyen de voûtes, de trompes ou de pendentifs.

La fig. 551 montre l'encoignure et le mur de l'octogone

soutenu par une série d'arcs juxtaposés et en retrait les uns sur les autres. Ces arcs sont représentés en plan par dessous et en élévation biaise dans la coupe verticale suivant AB.

La fig. 552 représente le côté additionnel soutenu par une trompe conique reportant la charge sur les deux murs du carré inférieur. En plan, la voûte est vue par dessous. En élévation, dans la coupe verticale, elle est vue de biais.

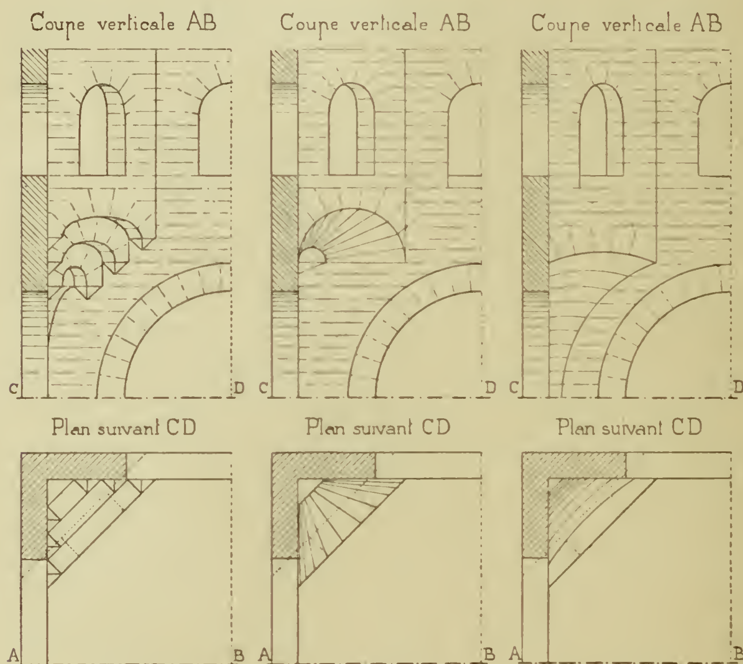


Fig. 551. Fig. 552. Fig. 553.

Enfin la fig. 553 montre le mur à 45° de l'octogone porté sur une voûte en encorbellement, formée d'ordinaire d'une partie de sphère, qui porte le nom de *pendentif*. Ce pendentif est représenté vu de dessous dans le plan, et en élévation biaise dans la coupe verticale suivant AB.

Quant à la coupole, elle s'exécute sur le mur devenu polygonal, exactement de la même façon que dans le numéro précédent.

324. Coupoles sphériques. Voûte sphérique sur mur circulaire. — La voûte polygonale est souvent remplacée par une voûte formée d'une surface de révolution.

Cette dernière est engendrée soit par un quart de cercle soit par un quart d'ellipse tournant autour d'un axe vertical situé dans son plan. Presque toujours la génératrice est un quart de cercle.

Deux propriétés importantes à constater appartiennent aux voûtes sphériques :

1o Chaque assise forme un anneau qui une fois fermé se porte de lui-même sur les anneaux inférieurs, de sorte que les cintres en charpente qui servent à les soutenir pendant la construction peuvent être très légers. 2° On peut, sans nuire à la solidité d'une voûte de ce genre, l'arrêter à une assise quelconque, en laissant un jour circulaire à sa partie supérieure. On peut ainsi les éclairer par le haut aussi largement qu'on le veut. Ces propriétés appartenaient déjà mais à un moindre degré aux voûtes en arc de cloître.

Il est naturel qu'une surface ainsi limitée vienne recouvrir un espace circulaire, et par suite soit portée par un mur dont le plan est un cercle projetant le cercle de base de la sphère, ou par une série de supports disposés suivant ce cercle. Les premières coupoles ont été ainsi soutenues et on a fait de cette disposition de nombreuses applications.

325. Voûte sphérique sur plan carré. — Pendentifs. —Dans beaucoup d'autres cas, il a paru plus convenable et plus

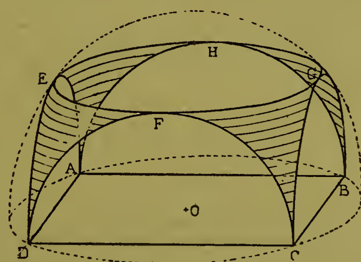


Fig. 554.

commode de conserver la forme carrée au plan de l'espace à

couvrir, et néanmoins de prendre la coupole comme forme de la couverture. On a dû alors chercher le meilleur raccord entre les deux plans, et on y est arrivé par l'emploi des pendentifs.

Soit une salle carrée limitée en plan par les murs ABCD, fig. 554. Circonscrivons un cercle à ce carré, et considérons ce cercle comme un grand cercle d'une sphère ayant le point O comme centre. Supposons cette sphère tracée et coupons-la par 4 plans verticaux passant par les côtés du carré. Nous obtenons 4 cercles que nous pouvons prendre pour les extrados de 4 arcs doubleaux reposant en ABC et D sur des piliers convenablement disposés. Si nous supposons que l'on coupe la sphère par un plan horizontal tangent aux 4 intersections précédentes, il ne reste plus de la sphère que 4 triangles sphériques EFD, FGC, GHB et HEA. Ce sont ces 4 triangles, que l'on nomme des pendentifs, qui viennent s'entrebuter aux points E'F'G'H, et qui vont servir de raccord entre le plan carré et le cercle continu et complet EFGH.

326. Différentes formes de voûtes sur pendentifs. — Exemples. — Sur ce cercle EFGH on peut poser :

1° La calotte qui a été supposée enlevée de la sphère même des pendentifs. On a alors une coupole très basse qui donnerait au dehors un dôme dont la silhouette ne serait pas satisfaisante, fig. 555.

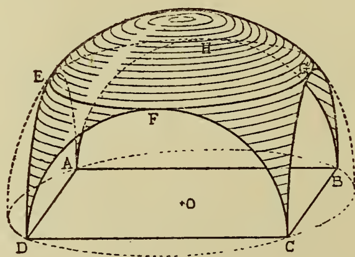


Fig. 555.

2° Une autre calotte sphérique n'appartenant pas à la sphère des pendentifs, par exemple une demi sphère ayant comme grand cercle le cercle EFGH dont le centre est O', donnant à la la coupole la forme représentée par la fig. 556.

3° Un cylindre vertical terminé supérieurement par une ca-

lotte sphérique. Cette disposition a pour but de donner une plus grande hauteur à l'intérieur, surtout à l'extérieur.

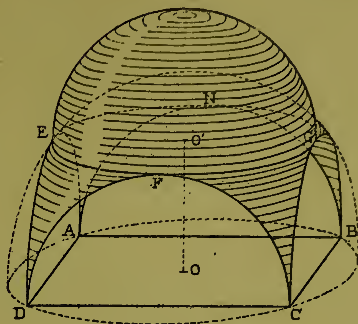


Fig. 556.

La fig. 557 donne la forme générale de la voûte dans ce cas. Les pendentifs sont compris entre le cercle ABCD dont le centre est en O et le cercle EFGH dont le centre est en O'. Au-dessus se trouve posé le cylindre vertical, dit *tambour*, limité supérieurement au cercle IKLM dont le centre est O", et qui lui-même sert de base à la demi-sphère de la calotte supérieure.

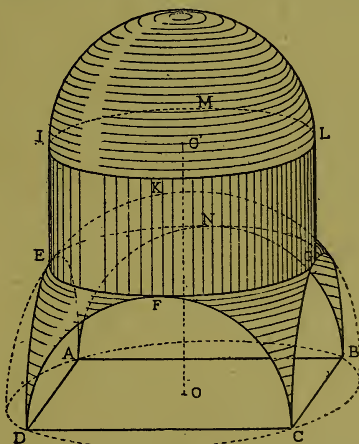
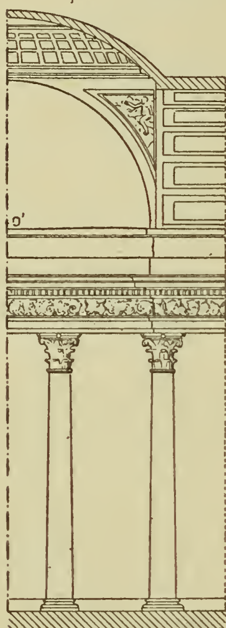


Fig. 557.

On peut supposer que suivant deux sens perpendiculaires la coupole soit pénétrée par des berceaux qui viennent la couper suivant les demi cercles verticaux tracés sur les quatre cô-

tés du carré de base, et que ces demi-cercles soient renforcés par une épaisseur convenable en formant des arcs doubleaux.



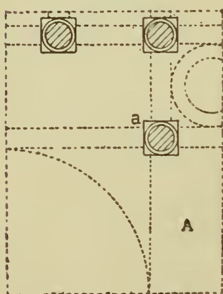


Fig. 558.

La coupole est alors portée aux quatre points A, B, C, D, par lesdits berceaux et les pendentifs qui les séparent.

Les quatre piliers de soutien ont la forme nécessaire pour recevoir les retombées des arcs doubleaux et la partie inférieure des pendentifs.

Nous trouvons un exemple de la première de ces trois dispositions dans les petites coupoles du Panthéon, à Paris, qui sont représentées en coupe et en plan par la fig. 558.

Un grand arc doubleau A, transversal, sépare cette petite coupole du grand dôme et s'appuie sur plusieurs colonnes dont l'une est représentée en *a*. Dans le sens longitudinal un autre doubleau vient également retomber sur cette même colonne, et le carré inscrit entre ces doubleaux et leurs symétriques est couvert par la petite coupole dont il est ici question, coupole dont les pendentifs appartiennent à la même sphère qui a son centre projeté en O et O'.

Malgré cette génération unique, la calotte supérieure est séparée des pendentifs par un bandeau circulaire comprenant plusieurs corps de moulures; elle est décorée de caissons et les pendentifs comportent des panneaux ornés.

Un exemple de la deuxième disposition est représenté par la fig. 559. Il représente en coupe l'église de Ste-Sophie à Constantinople. Le plan est formé par un carré central qui couvre une vaste coupole sur pendentifs. Ces derniers appartiennent à une sphère qui a son centre en O. Ils s'arrêtent supérieurement à un cercle complet dont le centre est O' et sur le-

quel est décrite la demi-sphère qui forme la calotte supérieure.

Cette coupole n'a pas moins de 33 m. 00 de diamètre. La voûte est contrebutée dans le sens de la longueur par les voûtes sphériques de deux hémicycles symétriques et dans le sens transversal par des voûtes en berceau appuyées sur des piliers plus épais.



Fig. 559.

Un exemple remarquable de la troisième disposition, avec tambour interposé entre les pendentifs et la coupole, est représenté fig. 560.

C'est la coupe verticale du Panthéon, faite par un plan passant par l'axe du carré de la base.

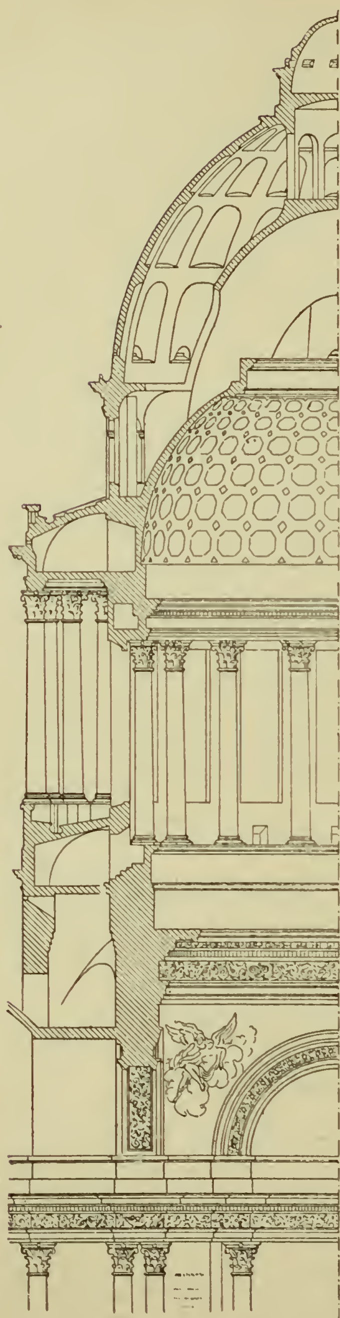


Fig. 560.

Les pendentifs reposent sur les quatre piliers triangulaires ornés de colonnes, portant un premier entablement qui sert d'imposte aux retombées de quatre grands arcs doubleaux.

Au-dessus de cet entablement commencent les pendentifs qui se terminent à un cercle horizontal, orné lui-même d'un véritable entablement.

Au-dessus part le grand tambour cylindrique; il est orné de colonnes entre lesquelles le mur est percé de baies d'éclairage, et c'est sur l'entablement porté par ces colonnes qu'est portée la coupole sphérique qui surmonte l'ensemble.

Cette coupole décorée de caissons est ouverte à la partie supérieure d'une large baie circulaire, laissant voir une deuxième coupole éclairée du dehors et portant un ciel décoré. Enfin une troisième coupole n'est visible que du dehors et compose le dôme extérieur. Les trois coupoles sont en pierres. Celle du dehors est armée de nervures méridiennes et de nervures parallèles qui ont conservé de la force, alors que la pierre dans les intervalles est réduite à son mi-

nimum d'épaisseur. Sur la seconde coupole vient porter la lanterne qui couronne le monument.

Quelquefois, pour diminuer la portée des pendentifs, on passe d'abord du plan carré au plan octogonal par un des moyens qui ont été décrits; puis, on établit les pendentifs au nombre de huit, mais d'importance moindre, en surmontant l'octogone d'une partie de sphère.

Les voûtes-coupoles, polygonales ou sphériques, jouissent de la propriété d'être stables si elles se réduisent à une moitié pour former une voûte en forme de niche, qu'on nomme souvent voûte en *cul de four*, surtout lorsqu'elle fait suite à un berceau, et qu'elle est appareillée avec des joints méridiens venant se rencontrer sur l'axe horizontal commun avec ledit berceau.

327. Voûtes en segments sphériques. — On couvre souvent des espaces rectangulaires par des voûtes formées d'une partie de sphère et que l'on nomme des voûtes en segments sphériques. Soit à couvrir un rectangle ABCD; on lui circonscrit un cercle, que l'on considère comme le parallèle d'une sphère à axe vertical dont le centre se projetterait en O′O′. C'est cette sphère, dans la portion située au-dessus du rectangle ABCD, que l'on prend comme intrados de voûte, fig. 561. La position du centre O permet de faire varier la flèche du segment adopté.

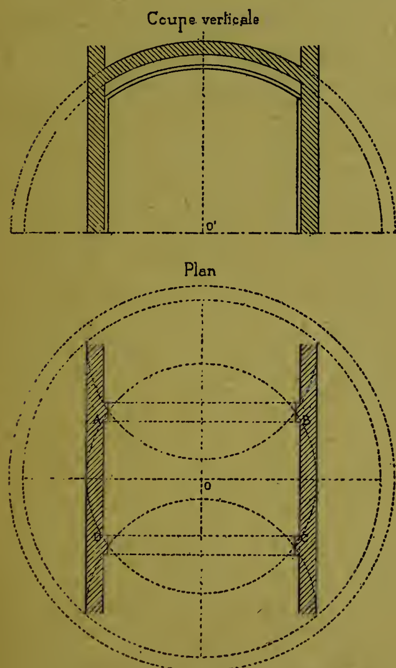


Fig. 561.

Les naissances de la voûte sont les intersections de la sphère avec les 4 plans ver-

ticaux qui forment les parements intérieurs de la pièce.

Ces *naissances* sont nécessairement des cercles que la géométrie enseigne à tracer facilement.

En contrebas de ces naissances, on établit d'ordinaire des arcs doubleaux portés sur les pilastres qui accompagnent la voûte. S'il y a des arcs doubleaux dans tous les murs de l'enceinte, la voûte n'est plus portée que par quatre piliers.

La fig. 562, empruntée à l'ouvrage de Wanderley, traduit par M. Bieber, ingénieur, rend compte non seulement de la forme de la voûte, mais encore de l'appareil de briques fort employé en Allemagne pour l'exécuter. C'est l'appareil à queue d'hironde dont nous avons déjà parlé à propos des berceaux qui ont peu de flèche. Avec cette disposition, les poussées se font sur les angles et les rangées courbes de briques sont perpendiculaires, pour chaque quart, à la diagonale qui lui correspond. Les raccords par enchevêtrements se font suivant les axes des doubleaux, et se coupent à angle droit au sommet de la voûte.

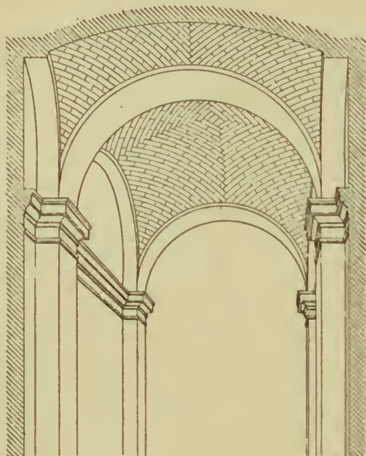


fig. 562.

Les arcs doubleaux ayant mêmes naissances reposent sur les chapiteaux de pilastres engagés qui portent l'ensemble de la voûte.

Il y a une grande analogie entre ces voûtes à segments sphériques sur plan rectangulaire et les voûtes en pendentifs sur plan carré ; mais dans les premières les pendentifs n'ont pas leurs côtés égaux ; comme dans les voûtes en calotte, celles à segment sphérique n'ont la plupart du temps que peu de hauteur.

328. Voûtes d'arêtes nervées. Forme générale. — Dans

la plupart des cas les fenêtes sont percées dans la hauteur des voûtes ogivales, et pour les dégager on les pénètre de voûtes transversales d'une certaine montée, formant par leurs intersections des voûtes d'arêtes. Les voûtes transversales viennent s'arrêter et s'amortir contre le mur longitudinal dans lequel sont percées les baies; d'autres fois, la même disposition est adoptée sans qu'il y ait de baies ; on a pour but, dans ce cas, de reporter sur les piliers seuls le poids et surtout la poussée des voûtes. Nombre de constructions du moyen-âge sont ainsi voûtées. Le principe de construction qui était employé pour faire franchir à ces voûtes des espaces souvent très considérables consistait à accuser les arêtes au moyen d'arcs solidement construits, moulurés à l'extérieur et formant une ossature solide, à laquelle on faisait porter les voûtes de remplissage exécutées alors avec toute la légéreté possible.

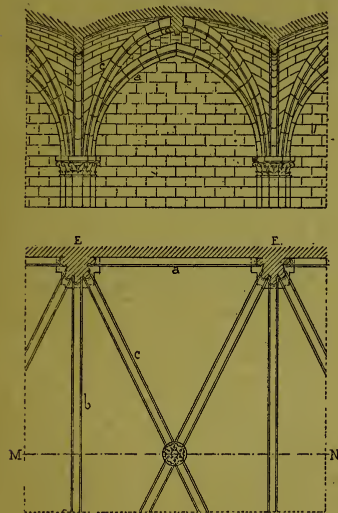


Fig. 563.

La fig. 563 donne en coupe verticale et en plan la représentation d'une voûte ainsi construite. MN est l'axe longitudinal de la nef, EF un mur longitudinal non percé de baies ; en EF sont des piliers et pilastres saillants, sur lesquels porte la voûte d'arête.

Les piliers qui à chaque travée se font face sont reliés par des arcs *b* que l'on appelle des *arcs doubleaux*.

Deux piliers successifs d'une même ligne E et F sont reliés par un arc *a*, le long du mur longitudinal; cet arc se nomme un *arc formeret*.

Enfin, les arêtiers sont accusés par des arcs *c* qui se croisent; on les nomme nervures *diagonales* ou encore *croisées d'ogives*.

Rarement les voûtes qui se croisent sont formées par des berceaux cylindriques ; le plus souvent la clef centrale est notablement plus élevée que les sommets des arcs de tête, et les voûtes triangulaires des remplissages sont construites avec intrados en surface gauche ou en surface sphérique.

Les arêtes faîtières au lieu d'être horizontales sont alors des courbes concaves, on les nomme souvent des *crêtes*.

329. Nervures additionnelles ; tiercerons ; liernes. — Dans beaucoup d'applications des voûtes d'arêtes ogivales on ne se contente pas des nervures qui ont été précédemment décrites.

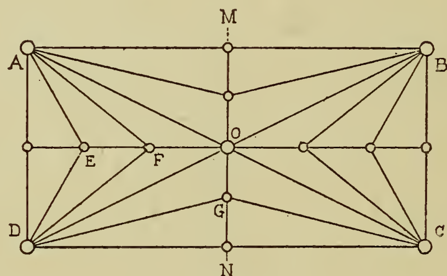


Fig. 564.

Supposons par exemple le plan d'une travée à couvrir suivant ABCD, telle que la dimension transversale AB soit double de la dimension longitudinale AD, ce qui est le cas ordinaire. L'axe de la nef étant MN, on trouve des voûtes auxquelles on a ajouté des nervures supplémentaires telles que D*e*, D*f*, D*g*, de manière à découper la voûte en un nombre plus grand de triangles. On a eu pour but soit de diminuer l'étendue du remplissage, et par suite d'augmenter la stabilité de la voûte, soit de concourir à une ornementation plus riche (fig. 564).

Ces nervures additionnelles qui partent des piliers portent le nom de *tiercerons*. Elles peuvent affecter des dispositions très variées, en raison de leur nombre et de leurs courbures relatives ; elles ont des profils analogues à ceux des nervures principales, et, comme elles, doivent recevoir les voûtes de remplissage.

En multipliant encore les nervures et les dessins qu'elles permettent de donner à l'ossature apparente des voûtes, on arrive à un autre ordre de nouvelles subdivisions, destinées seulement à relier les arcs précédents et qui portent le nom de *liernes*.

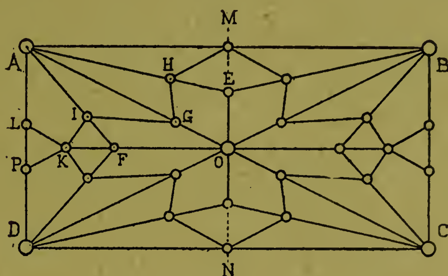


Fig. 565.

Ainsi dans l'exemple représenté en plan vu par dessous (fig. 565), MH, HG, GI, IK, KL et KP sont des liernes. Il en est de même de MH et HO dans l'exemple plus simple de la fig. 566.

Les dispositions de toutes ces nervures sont très variables dans les divers monuments gothiques suivant le caractère, la richesse et aussi l'époque de leur construction.

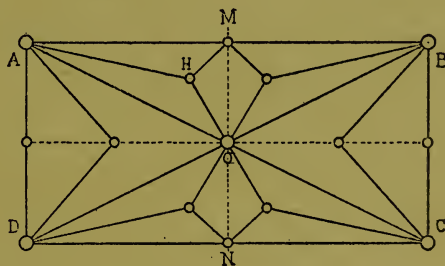


Fig. 566.

Aux points d'intersection des nervures, on place des clefs pendantes, qui présentent d'une part les sections nécessaires à la retombée normale des différentes branches, et d'autre part fournissent des motifs de décoration, leur surface inférieure recevant des formes sculpturales variées.

330. Construction des premières voûtes d'arêtes romanes.—Soit à couvrir la travée de nef ABCD établie, suivant la règle générale adoptée, sur un plan rectangulaire tel que AC=2AB (fig. 567). Sur AC on décrit un demi-cercle qui est l'extrados de l'arc doubleau. Sur CD un autre demi-cercle qui donne le profil du formeret.

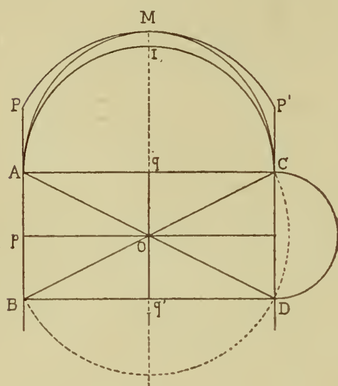


Fig. 567.

Si sur BC et AD on décrit deux demi-cercles diagonaux, on les considèrera comme les courbes des arêtiers, et les arêtiers se projeteront verticalement suivant la ligne AMC. Le formeret étant projeté en AP, on joint P et P′ par une courbe PP′ qui sera la crête, projetée horizontalement en Op. Il ne restera plus qu'à construire ces différents arcs et à établir sur un cintre maçonné grossièrement et qu'on appelle *pâté* les triangles courbes AOp, pOB, OAq, OBq'.

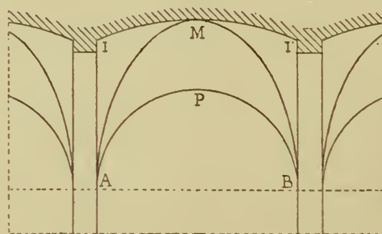


Fig. 568.

C'est ainsi que se sont faites les premières voûtes d'arêtes romanes; au lieu de partir comme dans les voûtes romaines de berceaux cylindriques, on s'est donné les arêtiers en plein cintre présentant un croisement plus solide que les intersections elliptiques, et on les a raccordés au moyen de remplissages courbes avec les formerets d'une part, avec les arcs doubleaux de l'autre.

Si on fait la coupe longitudinale sur l'axe de la nef on verra

la projection des formerets APB, celle des arcs diagonaux AMB et enfin celle des crêtes de faîtage IMI′ (fig. 568).

Les piliers qui soutenaient ces premières voûtes présentaient la section horizontale indiquée fig. 569, dans laquelle on voit en *a* la saillie recevant l'arc doubleau, en *b* et en *b′* celles qui supportent les retombées des formerets; quant à l'arête diagonale, elle correspond à l'angle formé par les deux saillies *a* et *b*.

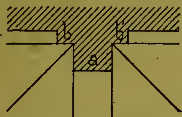


Fig. 569.

Lorsque la portée des voûtes augmenta, on fit en deux assises les arcs doubleaux, avec une moulure saillante destinée, comme l'indique Viollet-le-Duc, à recevoir les couchis de cintres des voûtes de remplissages.

Ces deux assises sont indiquées en *a* et *b*, fig. 570 ; au-dessus, en *c*, on voit la naissance des voûtes voisines.

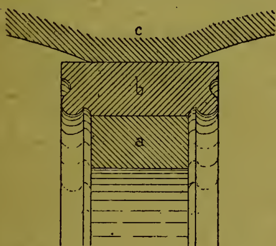


Fig. 570.


Fig. 571.

Quant aux arcs formerets, ils étaient disposés comme l'indique la partie hachée en fin de la fig. 571 ; on les encastrait légèrement dans la maçonnerie des murs auxquels ils étaient adossés.

Au contraire des voûtes romaines, le plan de toutes les voûtes partielles qui retombent ainsi sur un pilier étant compliqué, il a fallu que le pilier lui-même eût une forme en rapport avec toutes les saillies qu'il s'agissait de recevoir. Sur la face avant des piliers, on ajoutait une colonnette dont le chapiteau suffisamment élargi portait le premier rouleau de l'arc doubleau, le second rouleau étant soutenu par le pilier lui-même.


Fig. 572.

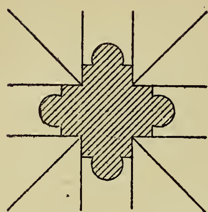


Fig. 573.

Pour des piliers recevant des retombées sur les quatre faces, on arrivait en plan à la forme représentée par la fig. 573 ; dans les angles venaient s'arrêter les lignes diagonales des voûtes.

331. Voûtes d'arêtes avec emploi de l'ogive ; elles procèdent de la coupole. — L'emploi de l'arc brisé, que nous avons depuis appelé ogive, a été adopté pour avoir des voûtes moins déformables et exerçant une moindre poussée sur les murs et les piliers.

On l'a appliqué aux voûtes croisées qui devaient recouvrir les grandes nefs d'églises et qui dérivent bien plus de la coupole que des voûtes en berceau, comme le montre l'exemple suivant, fig. 574.

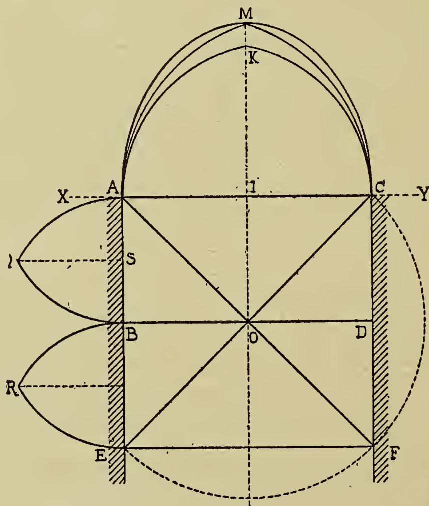


Fig. 574.

ABCD, BDEF représentent deux travées successives d'une nef à recouvrir de voûtes, et forment ensemble un carré parfait. On en mène les diagonales AF et EC, et on suppose deux arcs en plein cintre développés suivant ces deux diagonales.

Ces deux voûtes vont former l'ossature principale ; elles se projettent verticalement suivant l'ellipse AMC. Si on trace un arc brisé de même montée IM, il sera la projection de l'arc doubleau BD. Avec un rayon moindre que OA, mais plus grand que AI, on décrit l'arc brisé AKC, qui donnera la forme des doubleaux AC et EF.

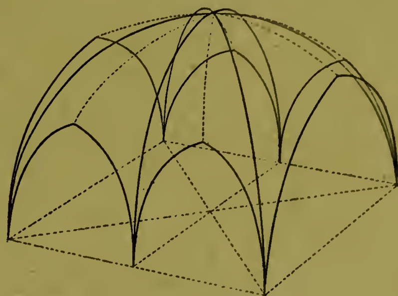


Fig. 575.

Quant aux formerets, il y en a un dans chaque travée, soit deux côte à côte projetés en AB et BE. On les a rabattus suivant AQB, BRE ; leur montée QS est plus petite que KI. L'ossature est donc représentée par les arcs en perspective de la fig. 575, tirée du dictionnaire de Viollet-le-Duc. Elle démontre l'affirmation de l'illustre maître, que les voûtes primitives dites en arcs d'ogives sont déduites de la forme des coupoles, et ne dérivent pas des pénétrations de berceaux. Avec les arcs brisés on leur donne la montée nécessaire à une grande solidité, dont le minimum correspond à la forme de plein cintre pour les arcs diagonaux.

Il ne reste plus, pour compléter la voûte, qu'à tracer les courbes de crêtes et à construire les triangles de remplissage s'appuyant sur ces divers arcs. Les voûtes de Notre-Dame de Paris sont tracées d'après ce système.

Ici les arcs diagonaux présentent, comme les doubleaux et les formerets, une nervure saillante, et le pilier doit prendre la forme qui convient pour recevoir tous ces arcs.

La fig. 576 donne le plan d'un de ces piliers dont on voit immédiatement le principe de construction. Chaque nervure

va trouver pour la recevoir le tailloir d'une colonne correspondante, et ces tailloirs se réunissent tous pour former la tête du pilastre d'ensemble.

Quelquefois les forments étaient remontés et reposaient sur une colonnette spéciale, d'autres fois cette colonnette en supportait une autre placée au-dessus des tailloirs, d'autres fois enfin cette colonnette supérieure existait seule et reposait sur le tailloir élargi de la colonne de l'arc diagonal.

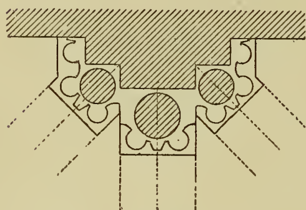


Fig. 576.

Dans beaucoup d'édifices à travées jumelles, recouvertes par la sorte de voûtes qui vient d'être indiquée, les piliers qui reçoivent l'arc doubleau passant par le croisement des diagonales sont beaucoup plus faibles que ceux qui séparent les travées doubles.

332. Voûtes d'arêtes spéciales à chaque travée. — On voulut ensuite établir les voûtes par travées, comme l'ont été la plupart des cathédrales : Amiens, Reims, etc. Voici un tracé de ces sortes de voûtes d'après Viollet-le-Duc.

Soit ABCD une travée de l'un de ces édifices dont la dimension transversale est moitié de sa longueur mesurée suivant l'axe de la nef. AC et BD sont les arcs diagonaux et ils sont composés d'un arc brisé dont la montée est les $\frac{10}{13}$ de la base. Cet arc est rabattu en aMc, ligne qui donne le profil de l'extrados. Les arcs doubleaux sont des ogives tracées sur un triangle équilatéral ; ils se projettent en dc' et se rabattent en dNc' comme courbe d'extrados. L'extrados du formeret est, de même, circonscrit à un triangle équilatéral et projeté en bc ; son rabattement est bPc. On remonte ce formeret de telle sorte que son sommet soit au niveau de la clef de ces doubleaux et que sa naissance se rabatte en βx.

On a donc ainsi tous les éléments de l'ossature de la voûte, il ne reste plus qu'à porter les épaisseurs des arcs et à établir les remplissages dont les intersections courbes déterminent les crêtes des faîtages.

La même construction s'étend à toutes les travées successives dans la longueur de la nef, fig. 577.

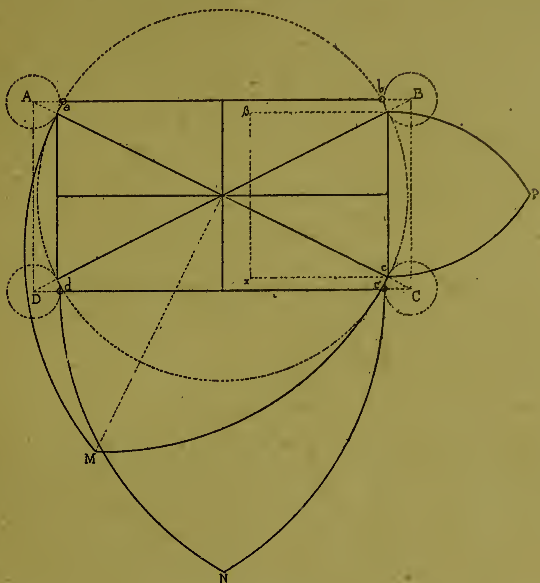


Fig. 577.

Dans ce tracé, on a évité d'avoir à tracer des arcs brisés dont les centres soient extérieurs à la voûte, afin de n'être pas conduit à des ogives d'angles trop aigus.

333. Voûtes dont les nervures sont de courbure uniforme. — Dans son dictionnaire, Viollet-le-Duc donne encore un tracé fort employé par les Anglo-Normands, tracé qui sacrifie les proportions à une grande facilité d'exécution et qui présente cela d'intéressant que tous les arcs : ogives diagonales, doubleaux, formerets, archivoltes, sont tracés à l'aide d'un même rayon. Voici les formes et dimensions des arcs, fig. 578.

Soit ABCD la surface à couvrir. Les arcs diagonaux sont deux pleins cintres se croisant en O et dont l'un est rabattu en ABC. L'arc doubleau AB rabattu en AMB est un arc brisé décrit avec un rayon SX égal à OB.

L'arc doubleau EF, qui correspond au croisement des diagonales, est tracé avec le même rayon TY = SX et légèrement remonté pour mettre sa clef au niveau de celle des nervures diagonales.

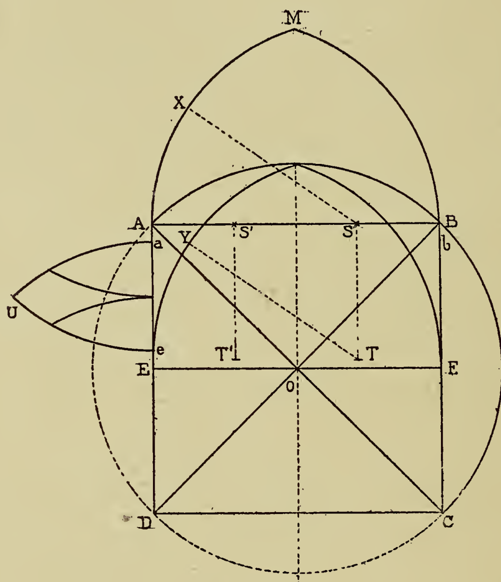


Fig. 578.

Soient A*a*, B*b*, E*e*, la largeur des piles qui comprennent les formerets; l'un d'eux est compris entre *a* et *e* et rabattu en *a*U*e*, courbe décrite avec le même rayon que précédemment et les arcs sont relevés pour que leur clef atteigne le niveau du croisement. Si la baie est ensuite divisée par un meneau, les arcs diviseurs seront encore tracés avec la même ouverture. Mais il en résulte des arcs brisés de plus en plus élancés. — Comme construction, un seul tracé, un seul panneau servait à l'exécution de tous les arcs, donnant ainsi une étonnante simplification dans la préparation des épures et la taille des pierres ; de là l'origine de l'introduction de l'arc en *lancette* dans les constructions ogivales.

CHAPITRE VII

ESCALIERS EN MAÇONNERIE

§ 1. *Généralités sur les escaliers*

§ 2. *Des perrons et des escaliers extérieurs*

§ 3. *Des escaliers intérieurs en pierre*

SOMMAIRE :

§ 1er. *Généralités sur les escaliers :* 334. Proportions, formules. — 335. Du profil employé pour les marches. — 336. Nature de la pierre.

§ 2. *Des perrons et des escaliers extérieurs :* 337. Perrons à marches parallèles à la façade et retours. — 338. Perrons à marches parallèles à la façade et comprises entre murs. — 339. Perrons à marches courbes. — 340. Perrons dont les marches sont perpendiculaires à la façade. — 341. Perrons en arcs. — 342. Grands perrons. — 343. Perrons en limousinerie enduite. — 344. Escaliers extérieurs.

§ 3. *Des escaliers intérieurs en pierres :* 345. Escaliers posés entre murs. Marches scellées. Marches sur corbeaux. — 346. Arrivée à un palier. — 347. Escaliers à vis. — 348. Escalier vis Saint-Gilles. — 349. Escalier vis à jour sur colonnes. — 350. Escaliers à quartier tournants entre murs. Balancement des marches. — 351. Escaliers suspendus. — 352. Différentes formes de cages. — 353. Escaliers suspendus avec limons. — 354. Divers exemples. — 355. Escaliers voûtés en encorbellement avec paliers en arc de cloître. — 356. Les mêmes avec paliers sur trompes coniques. — 357. Escaliers sur voûtes complètes.

CHAPITRE VII

ESCALIERS EN MAÇONNERIE

§ 1

GÉRÉRALITÉS SUR LES ESCALIERS

331. Proportions. Formules. — Les escaliers servent à racheter deux niveaux différents et à passer facilement de l'un à l'autre.

Ils se composent d'un nombre convenable de *degrés* ou *marches.*

La largeur de la partie horizontale de la marche porte le nom de *giron.* La partie verticale s'appelle la *contremarche* ; la largeur de la contremarche mesurée verticalement est la *hauteur de marche.*

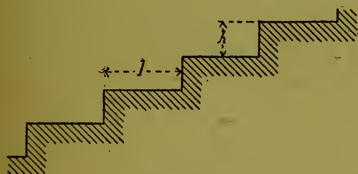


Fig. 579.

Pour que les proportions de l'escalier concordent avec les mouvements de la marche ascensionnelle de l'homme, il faut qu'il y ait une certaine relation entre le giron l et la hauteur h. Il faut, de plus, que ces deux quantités soient limitées dans leurs variations.

On admet la relation suivante entre les deux dimensions dont il vient d'être parlé :

$$l + 2h = 0 \text{ m. } 64.$$

Si l'on suppose $h = 0$, on a un plan horizontal ; la formule donne $l = 0{,}64$, longueur moyenne du pas dans la marche de niveau. Si on suppose $l = 0$, on a $h = 0{,}32$; c'est le cas d'une

ascension verticale, par échelle, par exemple, et 0,32 est, en effet, la distance la plus commode que l'on adopte entre les échelons.

Mais tous les chiffres que donne la formule entre ces extrêmes ne sont pas acceptables pour les degrés d'un escalier commode. L'expérience apprend que, pour éviter la fatigue, il faut exclure aussi bien les marches très basses que les marches hautes. On est conduit ainsi à se limiter entre 0,12 et 0,18 et mieux entre 0,14 et 0,17 pour la hauteur, et, pour la largeur, à rester compris entre 0,42 et 0,25.

Quand la hauteur à franchir est considérable, il y a avantage à prendre des marches un peu hautes pour en diminuer le nombre, en même temps que pour économiser la place. Au contraire, pour les grands escaliers qui n'ont qu'un étage à desservir on prend des marches plus basses.

La formule donne les proportions suivantes :

Pour $h = 0,17$ — $l = 0,30$.
Pour $h = 0,16$ — $l = 0,32$.
Pour $h = 0,15$ — $l = 0,34$.
Pour $h = 0,14$ — $l = 0,36$.

qui sont celles des escaliers importants. Pour les habitations moyennes, où la place est toujours restreinte, on se rapproche de 0,16 pour la hauteur et on ne donne que 0,25 à 0,28 au giron. Les premières marches de départ du bas de l'escalier sont seules un peu plus amples de 0,02 pour la deuxième et de 0,04 à 0,05 pour la première.

335. Du profil employé pour les marches. — Si l'escalier dessert des pièces secondaires et que l'emplacement qu'on lui destine soit restreint, on donne au giron une largeur de 0 m. 24 à 0 m. 25, et on peut regagner un peu de surface en taillant en biais la contremarche, tout en lui laissant un listel vertical de quelques centimètres ; on facilite ainsi la pose du pied à la montée.

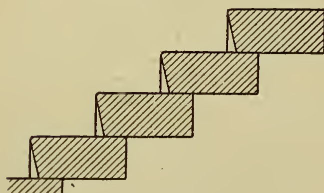
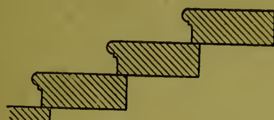


Fig. 580.

Dans d'autres cas, on donne aux marches le profil rectangulaire, avec une légère pente pour

que l'eau ne séjourne pas sur leur face supérieure, si l'escalier est à l'extérieur.

Enfin, quand il s'agit de constructions soignées, on donne aux marches une forme décorative en moulurant leur partie haute : le profil employé est à peu près celui d'une astragale ; la fig. 581 en fournit un exemple.


Fig. 581.

Tout en restant dans la même forme générale, le profil varie avec la nature de la pierre, en même temps qu'avec l'effet à obtenir. La fig. 582 donne huit profils différents qui s'emploient dans la pratique.



Fig. 582.

336. Nature de la pierre. — Quant à la nature de la pierre à employer pour faire les marches d'escaliers, et en particulier de perrons, elle doit réunir les conditions suivantes : être très pleine, très dure, résistant bien à l'user, ainsi qu'aux intempéries. Les liais et cliquarts ont fourni longtemps les meilleures pierres pour ces genres d'ouvrages à Paris, et, maintenant qu'ils n'existent plus dans les environs, on emploie les pierres de nature froide qui nous viennent de plus loin. La pierre de Comblanchien est une des meilleures pour cet usage.

§ 2

DES PERRONS ET DES ESCALIERS EXTÉRIEURS

Les escaliers sont extérieurs ou intérieurs aux bâtiments qu'ils desservent.

Extérieurs, ils prennent en général le nom de *perrons* lorsqu'ils sont composés d'un petit nombre de marches pour accéder au niveau d'un rez-de-chaussée un peu élevé. Lorsqu'au contraire ils ont la hauteur d'un étage, on leur conserve le non d'*escaliers extérieurs*.

Les perrons sont, la plupart du temps, peu développés. Ils mettent en communication, au moyen d'un nombre restreint de marches, le sol extérieur avec le sol du rez-de-chaussée légèrement surélevé. Avec les dimensions citées plus haut, on voit qu'il y a environ six marches par mètre dont on a à s'élever. On sait donc immédiatement le nombre de marches à employer.

337. Perrons à marches parallèles à la façade et retours. — Le perron, dans sa forme la plus ordinaire, présente ses marches parallèles à la façade avec retours plus restreints sur les côtés comme l'indique le plan de la fig. 583.

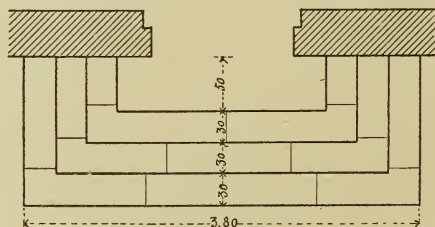


Fig. 583.

La première marche du haut prolonge le seuil et on lui donne la plus grande largeur possible : il faut qu'elle puisse contenir quelques personnes comme sur un palier ; la largeur de 0,50 figurée est un minimum au-dessous duquel l'escalier

devient dangereux. Il est bon de tailler les dessus de marches avec une pente, un *dévers* du côté extérieur pour rejeter les eaux. Les marches n'ont que les deux faces vues qui soient taillées ; les autres sont seulement dégrossies. Elles sont posées sur un massif en maçonnerie aussi bien fondé que possible pour que l'ouvrage n'ait pas de tendance à se séparer de la façade.

Les joints des diverses pierres sont croisés et parfaitement remplis de bon mortier de ciment pour que l'eau ne puisse y pénétrer. Les marches successives se recouvrent de 0 m. 02 à 0 m. 03. Elles s'engagent de 0 m. 04 environ dans le socle de la construction.

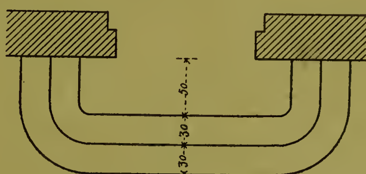


Fig. 584

Dans quelques cas on arrondit les marches en plan de manière à raccorder circulairement les marches de face avec les retours, ainsi que le montre la fig. 584.

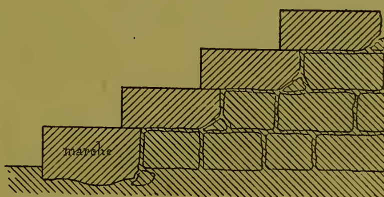


Fig. 585

La section verticale des marches et de leur massif de soutien est représentée fig. 585. Le dessin suppose une fondation en moellons dont la hauteur d'assise correspond à une hauteur de marche, ce qui facilite la pose.

Quelquefois, au lieu d'arrondir les marches, on raccorde par des pans coupés à 45° les marches de face avec les retours ainsi

que l'indique la fig. 586. Les pans coupés sont tracés de telle

Fig. 586

sorte que la première marche du haut en soit munie, et les autres s'en déduisent.

338. Perrons à marches parallèles à la façade et comprises entre murs. — On comprend souvent les marches parallèles à la façade entre deux murs perpendiculaires qui les limitent toutes à même longueur et les dépassent en hauteur de 0 m. 20 à 0 m. 30 au moins. Ces murs ont leur surface supérieure disposée en gradins ou suivant la pente de l'escalier. La fig. 587 montre un perron compris ainsi entre murs,

Fig. 587

et ces derniers terminés en gradins. Pour ne pas multiplier ces gradins, on ne les établit que de deux marches en deux marches, et lorsqu'ils sont exécutés en limousinerie de petits matériaux réunis par de bon mortier de ciment, on les recouvre de dalles en pierres dures.

Les murs qui comprennent ainsi dans leur intervalle les marches d'escalier et qui soutiennent leurs extrémités portent le nom de *murs d'échiffre*.

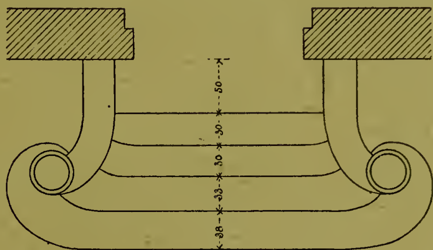


Fig. 588.

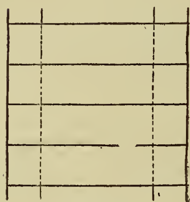
Les murs d'échiffre ne sont pas toujours perpendiculaires dans tout leur tracé à la façade desservie par le perron. On facilite l'entrée en les évasant en sorte d'entonnoir, fig 588. Les marches les plus basses sont en même temps les plus longues. Dans l'exemple figuré, les murs d'échiffre sont en pierre de taille et leur partie supérieure suit le rampant de l'escalier ; ils se terminent par deux cylindres verticaux, appelés *volutes*, plus élevés et sur lesquels on place des vases décoratifs.

Lorsqu'un perron a beaucoup de marches, le massif de fondation devient très important comme cube et coûte cher ; on cherche à économiser en le restreignant le plus possible.

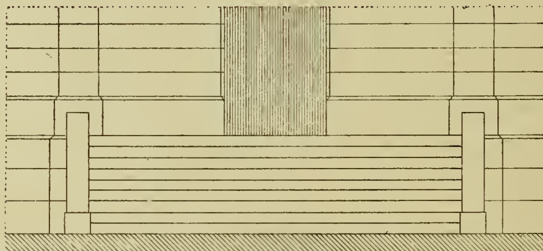
On y arrive par plusieurs moyens :

Lorsque la pierre dont on dispose pour faire les marches est très résistante et de très bonne qualité, lorsqu'en même temps les murs d'échiffre, disposés comme dans la fig. 589, ne sont pas trop écartés, on se contente de bien fonder ces derniers et

de leur faire porter les marches qui ne sont ainsi soutenues qu'à leurs extrémités. La pierre travaille alors à la flexion sous la charge qu'elle est appelée à porter. La fig. 589 représente en plan les 2 murs d'échiffre et les marches successives qu'elles soutiennent.


Fig. 589.

Lorsque le perron est très large, lorsqu'il a, comme l'on dit, un grand *emmarchement*, les marches ne peuvent s'établir d'une seule pièce ni se soutenir d'elles-mêmes dans la distance des deux échiffes disposés comme dans la fig. 590.


Fig. 590

On cherche, en raison des dimensions de carrière de la pierre dure employée, un appareil à joints croisés facile à exécuter, et on dispose à distance convenable une série de murs, parallèles

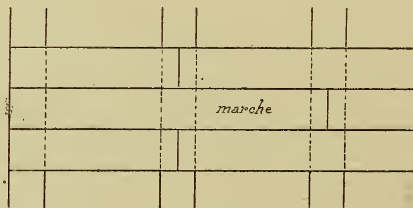


Fig. 591

aux échiffres, qui viennent soutenir les marches sous les joints et dont l'intervalle est réglé pour pouvoir être franchi par la pierre en toute sécurité. La fig. 591 montre en plan la série de ces murs parallèles et les marches qui les surmontent.

D'autres fois, enfin, on remplace le massif plein par un massif évidé en forme d'arc dont on constitue le cintre avec du remblai recouvert de plâtre et sur lequel on vient poser les matériaux de la voûte. C'est un procédé très économique,

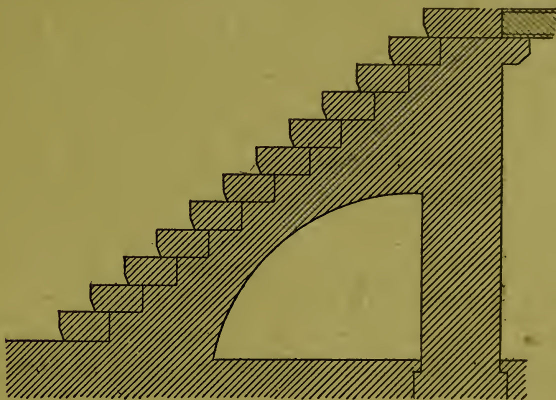


Fig. 592.

qui précise la fondation nécessaire, en réduit la section, et permet de la mener jusqu'au sol suffisamment résistant (fig. 592).



Fig. 593.

Les murs d'échiffre sont souvent surmontés d'une balustrade soit pleine soit ajourée. La fig. 593 donne le départ d'une balustrade ainsi formée : un pilastre l'arrête à la partie inférieure, un autre s'établit sur le bord de la plateforme du haut que l'on appelle le *palier* ; enfin un troisième est à moitié encastré dans le mur de face et les intervalles de ces pilastres sont remplis par la balustrade composée de ses trois parties constitutives : le socle, les balustres et la tablette supérieure. Dans les rampants on établit les balustres verticaux et ce sont leurs bases et tailloirs qui sont coupés en biais pour s'assembler avec les pierres inclinées.

339. Perrons à marches courbes. — On donne très fréquemment aux marches et aux murs d'échiffre des perrons des formes courbes et ces formes sont motivées la plupart du temps par une différence de direction entre le départ et l'arrivée de l'escalier. Le perron de la fig. 594 est dans ce cas. Chacune des parties dont il se compose donne accès à une porte percée dans la face biaise d'un pavillon saillant.

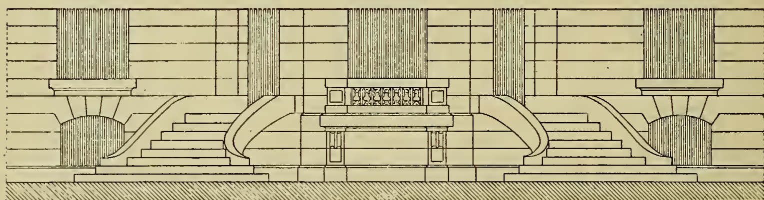


Fig. 594.

La marche supérieure d'arrivée est parallèle à cette face, tandis que la marche du bas est parallèle à l'ensemble de la façade ; elle fait donc en plan un angle de 45° avec la première. Les marches comprises entre les deux doivent avoir des directions intermédiaires. Au lieu d'avoir des murs d'échiffre brisés, on étudie avec soin la forme d'une courbe convenable, qui s'évase au dehors en raccordant les directions extrêmes d'une façon continue. Les marches elles-mêmes sont courbes et viennent s'amortir normalement dans les échiffres.

La fig. 595 donne un autre exemple d'un large perron donnant accès à une terrasse surélevée qui règne sur toute la façade d'une habitation de plaisance. Les murs d'échiffre sont évasés pour correspondre à toutes les directions possibles d'arrivée, et on a donné de l'ampleur à la construction en disposant en plan les marches suivant une forme cintrée, se raccordant au mieux avec les échiffres.

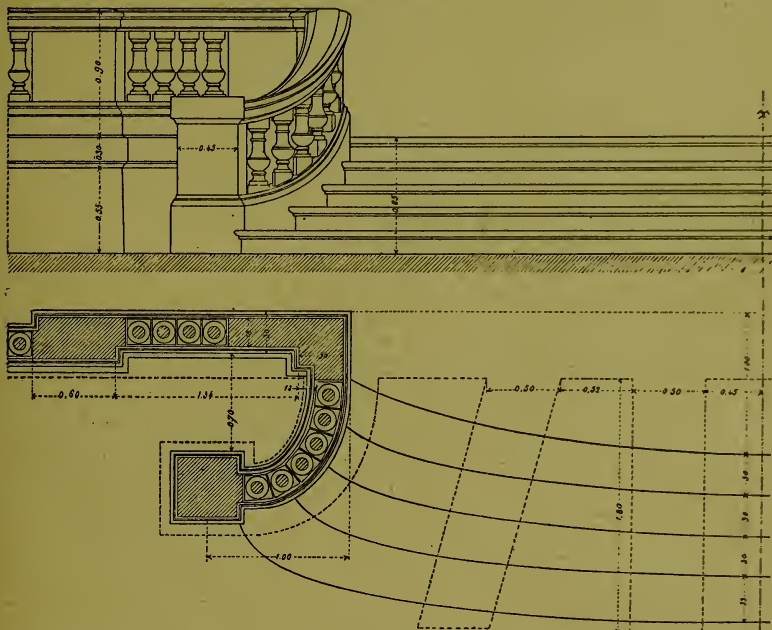


Fig. 595.

Le même croquis donne en ponctué la fondation des balustrades extrêmes, et les différents murs qui pour mieux soutenir les marches sont disposés en éventail.

340. Perrons dont les marches sont perpendiculaires à la façade. — Lorsque la direction la plus ordinaire de l'arrivée au bâtiment se fait parallèlement à la façade on a avantage à présenter le perron dans cette direction et par suite à mettre les marches perpendiculaires au mur de face.

Ces marches viennent, d'une part, se sceller de 0m.20 environ dans le mur du bâtiment, et, à l'autre extrémité, elles sont

portées dans un mur d'échiffre plein ou percé de baies suivant les besoins.

La fig. 596 se rapporte à un perron de ce genre. La décoration du perrou est en harmonie avec la disposition du soubassement de la construction.

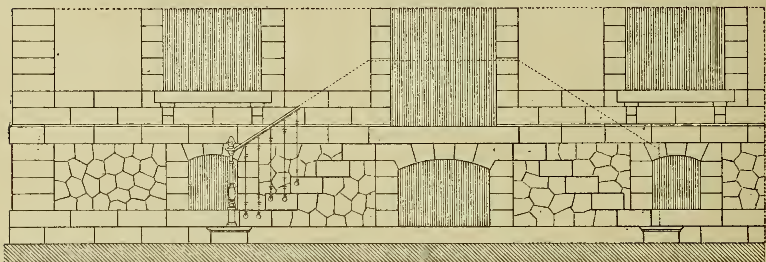


Fig. 596.

Dans l'exemple ci-dessus, le mur d'échiffre est percé d'une baie cintrée en pierre de taille, avec piédroits en même pierre. Tout en étant très simple l'ordonnancement est régulier, les assises de pierre régnant avec les hauteurs de marches. La première marche du bas est seule astragalée, les autres ont un simple profil rectangulaire. Une rampe en fer protège du côté du vide extérieur et donne en même temps un soutien pour aider à monter. Comme le mur de soubassement, le restant du mur d'échiffre est en meulière parementée en *opus incertum.*

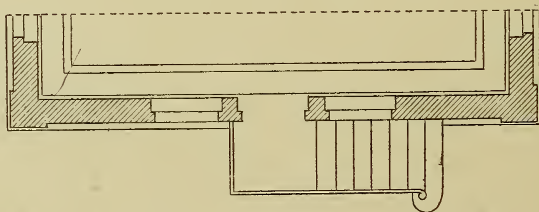


Fig. 597.

Le perron qui vient d'être décrit est double ; on peut y accéder des deux côtés de son axe. Dans bien des circonstances il n'est commode d'arriver que d'un seul côté et on ne met qu'une seule montée. Le perron est dit *simple*, comme celui qui est représenté fig. 597.

Un autre exemple de perron du même genre un peu plus décoré est représenté en plan et en élévation dans la fig. 598. Il a deux montées opposées qui viennent déboucher sur un palier placé au devant de la porte d'entrée comme les précédents,



Fig. 598.

il est construit tout en pierre : marches, mur d'échiffre et balustrade. Le mur d'échiffre est percée d'une baie éclairant le sous-sol et est traité, comme apparence, en forme de soubassement. Les tympans sous les marches, compris entre le socle inférieur et le bandeau rampant, sont décorés de triangles saillants que l'on appelle des tables. La balustrade en pierre est taillée à la manière ordinaire.

341. Perrons en arcs. — Quand le dessous du perron peut rester vide, on prend une disposition plus légère et souvent plus économique, en formant avec les marches et le palier une construction appareillée en arc et en présentant la solidité.

Comme dans les exemples précédents, pour faciliter l'accès

de l'escalier et lui donner de l'ouverture, les deux premières marches du bas de chaque montée sont plus grandes que les autres et terminées en demi cercle à l'extérieur. On dit qu'elles portent *volutes*. Elles sont en même temps plus larges de quelques centimètres.

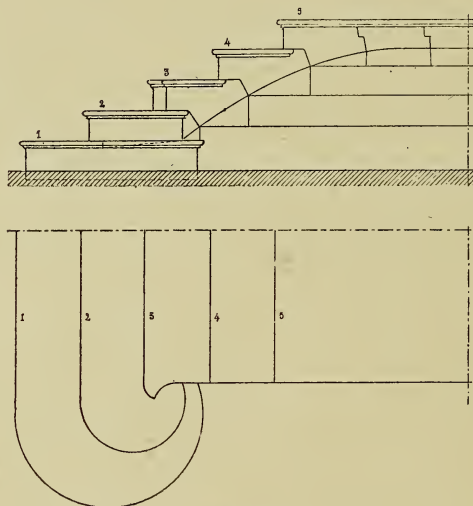


Fig. 599.

Ce sont ces marches du bas qui vont porter toute la construction. La première s'appuie directement sur le massif de fondation, elle s'y encastre suffisamment pour ne pouvoir glisser sous l'effort horizontal de poussée de la voûte. La seconde marche pose sur la première, et lorsque l'arc est très surbaissée et que la poussée est grande, on prend la précaution de préparer un embrèvement dans le joint pour s'opposer au déplacement de la pierre par glissement. Cette seconde pierre présente une coupe biaise normale à l'arc et qui lui servira de joint avec la marche n° 3. Les marches supérieures forment ainsi une série de voussoirs jusqu'au palier supérieur qui lui même se décompose en un nombre impair de claveaux. Lorsqu'on dispose de dalles en pierre dure de surface suffisante, on réduit la hauteur des claveaux et on les recouvre d'une *semelle* de 0,06 à 0,07 d'épaisseur qui forme la surface totale du palier et évite que l'eau ne puisse pénétrer dans les joints.

Les marches peuvent être astragalées. On retourne pour chacune d'elles la moulure d'astragale sur le parement latéral et on l'arrête par un contre-profil, correspondant à la contre-marche supérieure.

Comme dans l'exemple fig. 596 le côté du vide est muni d'une balustrade en fer dont les détails seront étudiés au chapitre serrurerie.

342. Grands perrons. — Lorsque les rez-de-chaussée sont très élevés au-dessus du sol, on peut conserver les formes précédentes en leur donnant l'amplitude nécessaire pour

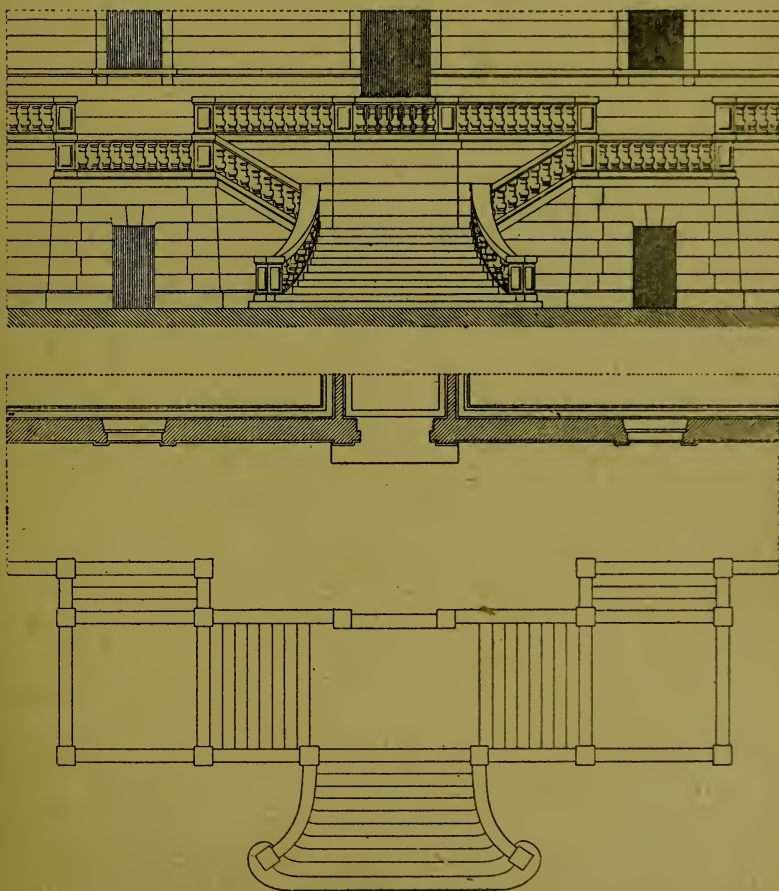


Fig. 600.

la hauteur en même temps que pour l'aspect, qui doit être en rapport avec l'importance de l'édifice. La plupart de nos monuments ont ainsi des perrons très variés de formes et qui leur servent de soubassement décoratif.

On combine quelquefois les formes précédentes en mettant les marches dans diverses directions successives, soit pour restreindre la longueur de la montée, soit pour trouver des paliers de repos qui facilitent l'ascension tout en ajoutant à l'aspect d'ensemble. La fig. 600 donne le plan et l'élévation d'un perron donnant accès à une terrasse élevée qui précède une grande construction. Trois séries de marches séparées par de larges paliers composent cet ouvrage. La première montée se compose de marches parallèles à la façade sont placées dans son axe ; à droite et à gauche deux suites de marches tournent d'équerre et mènent à un second étage de paliers et ceux-ci ne sont séparés de la terrasse à atteindre que par six degrés qui reprennent la première direction.

Les murs d'échiffre nombreux qui soutiennent toute cette construction sont traités en forme de soubassement avec refends et bossages et une balustrade en pierre, avec pilastres et balustres, accuse et décore les différentes parties de l'ouvrage.

On prend encore dans quelques cas une disposition plus simple dans laquelle le changement de direction se fait d'une façon continue et insensible pour passer d'un alignement parallèle à la façade à un alignement perpendiculaire.

La fig.601 représente un perron dont les marches, comprises entre deux murs d'échiffre courbes, décrivent ainsi un quart de cercle pour aboutir au palier supérieur, sur lequel s'ouvre l'entrée de la maison.

Les marches ont alors une largeur variable en raison de la différence de développement des deux murs. Une ligne *aa'* que l'on tracerait à 0m.50 du mur le plus petit déterminerait sur les marches ce que l'on appelle la *ligne de foulée* ; c'est suivant la ligne de foulée que l'on parcourera les marches dans la position la plus défavorable. C'est également à l'endroit de la ligne de foulée que les marches devront présenter les dimensions que nous avons données comme convenables.

Dans cet escalier les premières marches du bas portent vo-

lutes de chaque côté, et les autres viennent concourir au centre des cercles qui forment le tracé des échiffres.

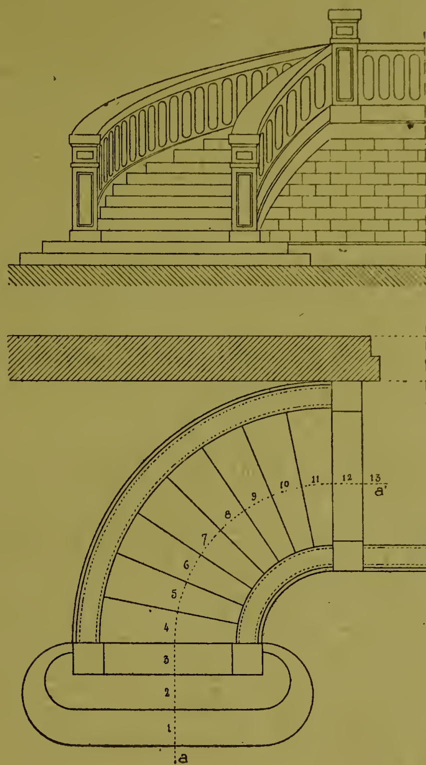


Fig. 601.

343. Perrons en limousinerie enduite. — On emploie presque toujours la pierre de taille dure et résistante pour exécuter les seuils et les perrons. Cependant, dans des conditions tout à fait économiques, si on les établit provisoirement par exemple, ou bien en cas d'exécution dans les pays où la pierre est rare et chère, on y supplée en faisant les seuils et les perrons en limousinerie de pierrailles et de ciment et on exécute les marches avec leur forme ordinaire en employant ces matériaux. L'arête extérieure dite *nez de la marche* étant la partie la plus exposée et sujette à l'usure, on la renforce

souvent d'une cornière en fer. Mais l'arête ainsi formée

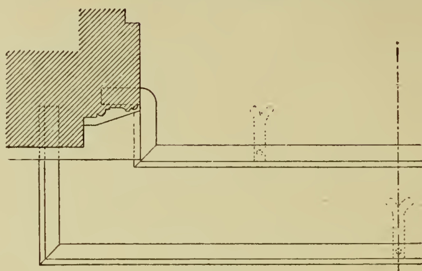


Fig. 602.

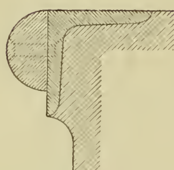


Fig. 603.

est dure et coupante, et dangereuse en cas de chute. Il vaut mieux composer un nez de marche en fer d'une cornière doublée d'un fer demi rond. En rivant ensemble un fer demirond de 0,030 avec une cornière de 0,040 de branches, et disposant la maçonnerie et les enduits comme l'indique le tracé de la fig. 603 on obtient le profil ordinaire d'une astragale de marche en pierre et l'effet est le même, surtout si on entretient la surface du fer d'une peinture dans le ton de l'enduit voisin.

On garnit ces nez de marches en fer de pattes à scellements qui assurent leur liaison avec la maçonnerie et on fait les angles vifs d'onglet, comme le montre le détail de la fig. 602, en les assurant par des équerres rivées.

On trouve maintenant dans le commerce un profil de fer spécial pour nez de marches qui est d'un seul morceau et évite non seulement l'assemblage des deux pièces précédentes, mais encore la rouille qui se forme dans le joint et ne tarde pas au bout de quelques années à désorganiser l'assemblage.

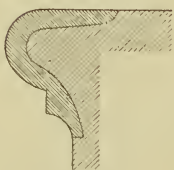


Fig. 604.

Ces fers nez de marches sont très commodes à employer pour réparer les escaliers dont la pierre est usée ; ils peuvent dispenser de la remplacer totalement. Au moyen de ce fer on reconstitue l'astragale, et sur la pierre piquée convenablement on étend un enduit de ciment de Portland bien fait qui donne encore un long et excellent usage lorsqu'on l'a mis dans les conditions convenables pour qu'il puisse atteindre toute la dureté dont il est susceptible.

344. Escaliers extérieurs. — On a beaucoup employé, dans les demeures seigneuriales du moyen âge, des escaliers extérieurs donnant accès au premier étage, où se trouvaient de préférence les locaux principaux d'habitation. Ils étaient formés de rampes droites portées, d'une part, sur le mur du bâtiment et, de l'autre côté, sur un mur d'échiffre extérieur. Ils étaient couverts soit par une construction voûtée en pierre, soit par un comble en bois. La fig. 605 donne en élévation et

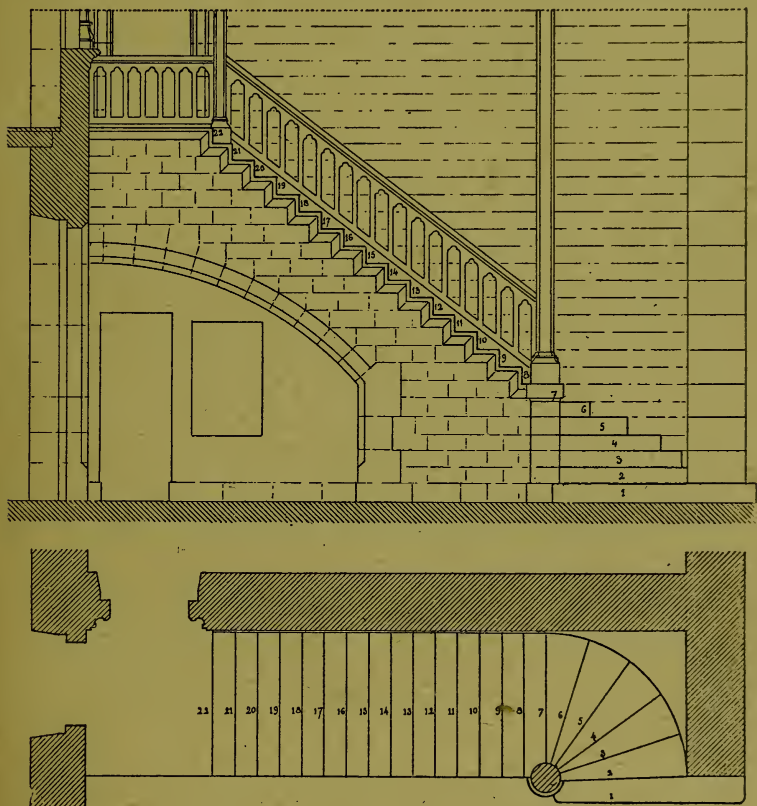


Fig. 605.

en plan un escalier de ce genre. Il conduit à un palier carré donnant, dans un angle de la construction, accès à deux portes. Les marches sont accolées au mur du bâtiment et y trouvent un scellement. Leur tête est soutenue en avant par un second

mur parallèle au premier, et leur forme est accentuée par une moulure en crémaillère qui couronne ce mur ; les six dernières marches du bas sont en quartier tournant pour présenter l'entrée perpendiculairement à la façade.

Le mur d'échiffre est percé d'une demi-voûte, qui non seulement donne accès à une porte de rez-de-chaussée, mais permet encore à une fenêtre voisine de trouver du jour. Il est arrêté inférieurement par un pilastre qui forme le centre du quartier tournant.

De ce pilastre et de la deuxième marche du haut partent deux poteaux qui viennent, concurremment avec un retour du mur, soutenir la couverture de l'escalier. L'intervalle de ces poteaux est rempli par une rampe, en bois façonné, qui fait un retour horizontal sur le palier et vient s'amortir contre le mur d'équerre. Dans la hauteur de l'escalier, l'appareil s'accorde avec les hauteurs de marches ; au-dessus, les dimensions des assises sont plus élevées.

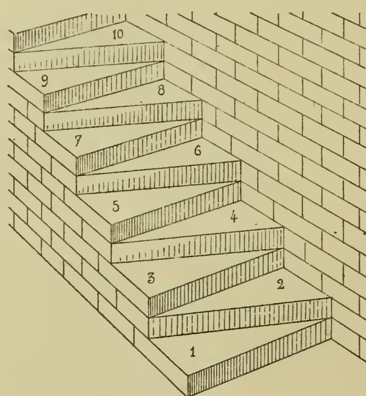


Fig. 606.

D'autres escaliers, notamment dans les ouvrages de fortification, n'étaient nullement couverts ; nous citerons, comme originalité, un escalier extérieur qui permet avec les hauteur et giron ordinaires de monter une rampe de 45°.

Chaque marche a 0 m. 30 de giron et 0 m. 30 de hauteur, mais elle est divisée diagonalement en deux, de manière à composer en réalité deux marches de chacune 0,15.

Cet escalier peut, dans certains cas, rendre des services. Son inconvénient est d'exiger que l'on commence à monter du pied gauche, sans permettre de modifier en chemin l'alternance. Il est représenté fig. 606.

§ 3.

DES ESCALIERS INTÉRIEURS EN PIERRE

Les escaliers en pierre que l'on construit dans l'intérieur des édifices ont les marches disposées de la même façon et taillées avec les mêmes profils qui ont été donnés précédemment. On leur donne également les mêmes dimensions, en prenant la hauteur de 0,16 à 0,17 comme un maximum.

345. Escaliers posés entre murs. — Dans bien des circonstances on établit les suites de marches entre deux murs qui les limitent, les portent, et continuent à s'élever au-dessus. Dans les monuments, la largeur de l'escalier ne permet pas aux marches de franchir sans soutien la distance des échiffres et on les établit sur l'extrados d'une voûte rampante. On trouve dans les édifices romains de nombreux exemples de cette disposition. La fig. 607 montre la construction de l'ouvrage: en *a* la voûte; en *b* un béton formant assise et sur lequel on vient poser les marches en *c*; ces dernières sont généralement en plusieurs pièces et engagées de quelques centimètres seulement dans les murs d'échiffre.

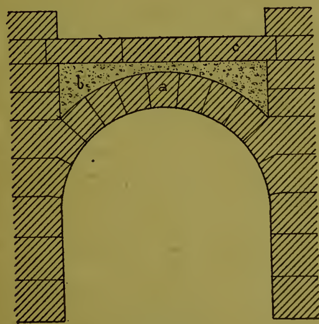


Fig. 607.

Quand une marche s'amortit ainsi latéralement contre des parois verticales, on peut donner aux nez de marche une forme un peu différente de celles indiquées plus haut.

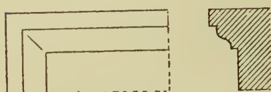


Fig. 608.

La fig. 608 donne le profil de la contremarche et en regard son élévation. L'arête de la marche porte un listel de 0,04 environ, soutenu par une moulure rentrante, un talon par exemple, et, aux extrémités, listel et moulure se retournent verticalement d'*onglet* pour venir s'amortir sur la marche inférieure.

La partie de la marche qui vient poser sur la maçonnerie est ordinairement brute ; on ne se donne pas la peine de la tailler. On la pose avec cales sur la maçonnerie résistante, et on remplit le joint avec du mortier de ciment et des garnis.

Lorsque l'espace compris entre les deux murs est tel que la pierre seule puisse la franchir en toute sécurité, on supprime la voûte et on taille le dessous des marches pour former un plafond apparent.

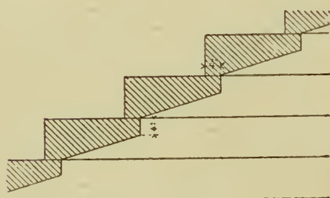


Fig. 609.

On peut les disposer suivant la coupe de la fig. 609. Dans l'intervalle des deux murs, on taille en biais le dessous de chaque marche en ménageant un listel régulier d'environ 0 m. 04 à la partie arrière. Le recouvrement d'une marche sur l'autre est également d'environ 0 m. 04,

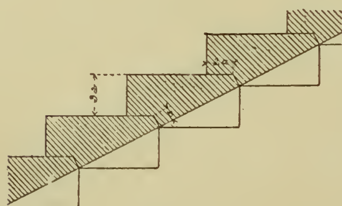


Fig. 610.

On peut encore adopter la disposition représentée par la coupe de la fig. 610. Le plafond est continu et les joints des marches, d'abord horizontaux, se retournent en crossette normalement à ce plafond. Cette disposition admet plus de hauteur de pierre et, par suite, correspond à une distance plus grande entre les murs.

Enfin, quand les espaces situés au-dessous des marches ont une destination commune, on laisse à la marche une section simplement rectangulaire en se contentant d'abattre un léger chanfrein sur l'arête (fig. 611).

Lorsque les murs d'échiffre se continuent au-dessus des marches de l'escalier, il n'est pas bon de sceller ces marches dans le corps même du mur. On serait obligé de les poser en montant le gros œuvre de la construction, et le moindre tassement inégal des maçonneries déterminerait leur rupture. On préfère avancer certaines assises du mur en forme de corbeaux saillants sur lesquels on viendra, à la fin des travaux, poser les marches sans scellements.

Fig. 611.

La construction est représentée comme principe, fig. 612, au moyen d'une coupe longitudinale AB et d'une coupe transversale faite suivant CD et présentée de manière à voir en élévation le dessous des marches.

Chacune d'elles est taillée en plafond rampant, mais les portées sur les corbeaux successifs restent rectangulaires pour augmenter la résistance. Il est bon de faire correspondre les hauteurs d'assises des murs d'échiffre avec les hauteurs de marches ; cela simplifie l'appareil et donne de l'unité à la construction.

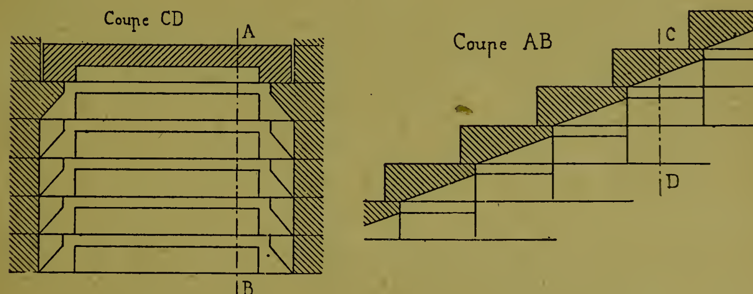


Fig. 612.

On donne une meilleure apparence au plafond rampant en reliant les corbeaux les uns aux autres et retournant verticale-

ment leur profil en arrière de la marche, de manière à composer une véritable crémaillère continue dont les crans successifs porteront les marches. La fig. 613 donne cette disposition en coupe transversale et en coupe longitudinale. C'est celle qui est le plus généralement adoptée.

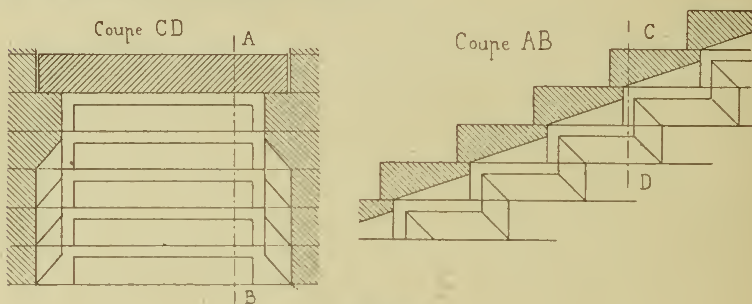


Fig 613.

Dans les figures ci-dessus, les moulures de la crémaillère ne sont indiquées que comme masses au-dessous du listel ; la forme de la moulure dépend de l'aspect à obtenir, ce peut être un talon ou une doucine, moulures les plus généralement employées. Le listel qui les accompagne doit être large pour présenter la résistance nécessaire au soutien des marches successives.

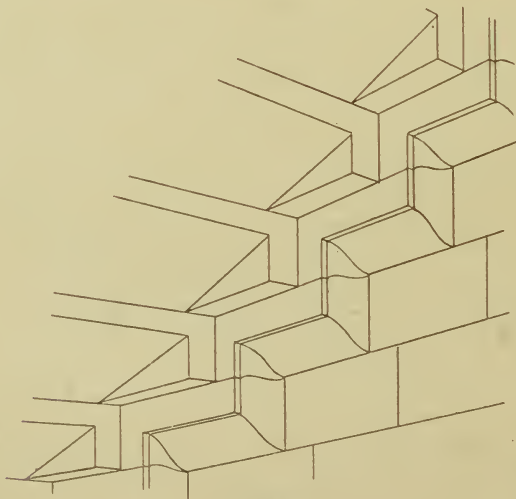


Fig. 614.

La fig. 614 montre en perspective le dessous d'un escalier

dont les marches sont ainsi portées sur une crémaillère moulurée.

Le plafond rampant est formé par une série de redans verticaux séparant les dessous biais des marches, et chacune de ces dernières reprend sa forme rectangulaire à partir de 0 m. 04 à 0 m. 05 en avant du listel de la crémaillère.

346. Arrivée à un palier. — A la partie haute d'une montée, l'escalier vient desservir la porte d'accès d'une pièce ou d'un appartement. On fait précéder cette porte d'une surface de repos horizontale assez spacieuse pour que plusieurs personnes puissent s'y tenir et que l'on nomme un palier.

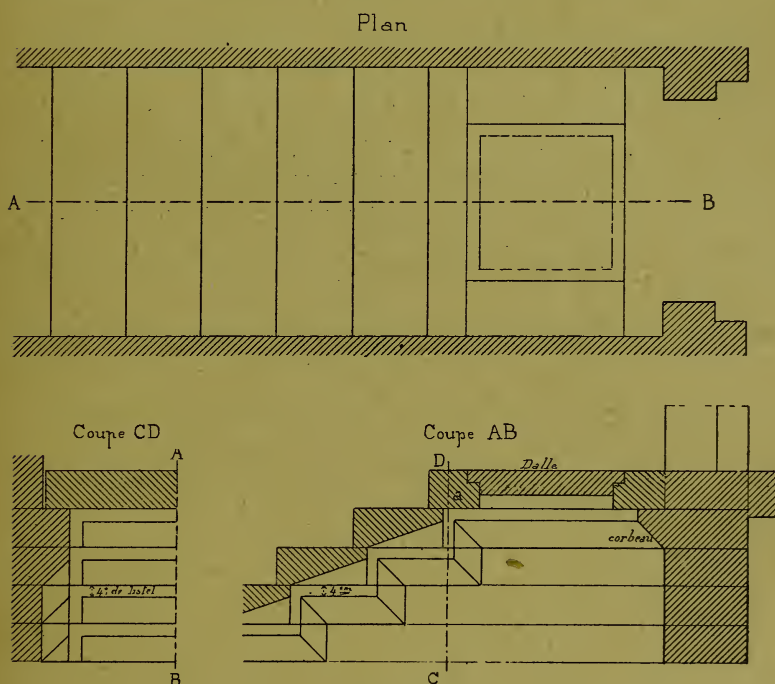


Fig. 615.

La dernière marche du haut qui forme le bord du palier se nomme la marche palière *a*, fig. 615 ; elle se pose sur la partie haute de la crémaillère et va d'un mur à l'autre. Près de la porte on pose une pierre parallèle à la précédente ; puis, deux

pierres perpendiculaires aux précédentes longent les deux murs d'échiffre. Ces quatre pierres limitent un vide rectangulaire autour duquel on pratique une feuillure pour recevoir une dalle qui complètera la surface du palier. Une contrefeuillure ménagée dans la dalle permet de lui laisser l'épaisseur nécessaire à la résistance.

Dans bien des pays on trouvera des pierres de suffisante dimension pour former le palier d'un seul morceau, on évitera ainsi la construction plus coûteuse qui vient d'être décrite.

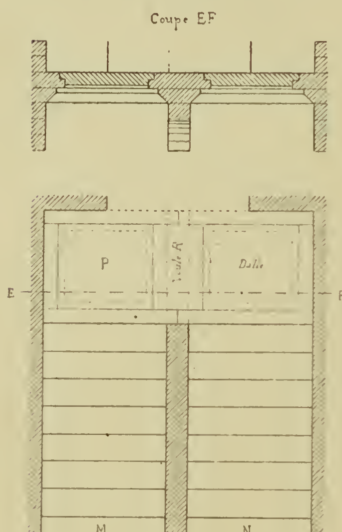


Fig. 616.

Le palier peut être plus large et correspondre à deux montées d'escalier, l'une venant d'un point M inférieur, l'autre revenant sur une direction inverse pour aboutir à un point N supérieur. Un mur d'échiffre commun sépare les deux parties.

La construction peut s'établir soit en prenant un palier d'une seule pièce, soit en le portant par une voûte lorsque les murs d'échiffre sont suffisants pour en recevoir la butée, soit enfin en le composant de plusieurs morceaux de la façon suivante, puis en supportant les marches comme celui d'être dit à l'exemple précédent.

En bout du mur d'échiffre et au-dessous du palier, on jette sur l'espace vide inférieur un linteau ou une voûte R pour le franchir, et on l'arase au niveau de l'assise en saillie formant corbeau que l'on pose ensuite. On a ainsi réduit le grand palier en deux paliers partiels que l'on construit à leur tour comme celui qui vient d'être décrit précédemment.

Nous donnons comme exemple d'un escalier entre murs celui dit de Henri II au Louvre, bâti par P. Lescot. Il est formé de grandes rampes droites interrompues par des paliers. Les murs des cages reçoivent, suivant des lignes rampantes ou

droites arrêtées par des impostes moulurés, des voûtes en berceau décorées de sculptures et l'ensemble est d'un grand

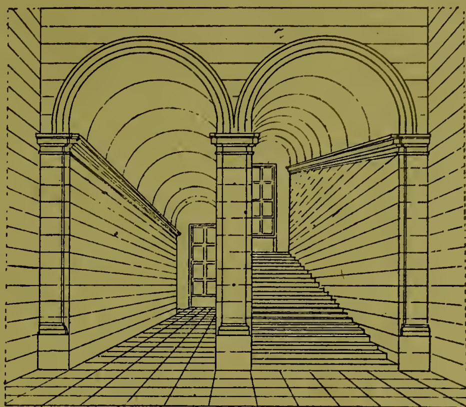


Fig. 617.

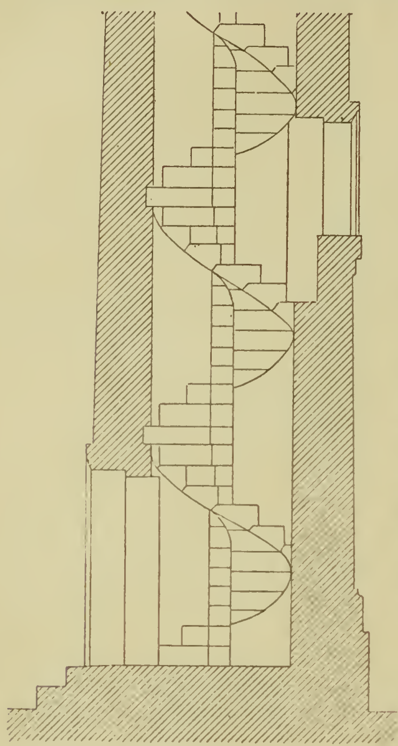
effet monumental, mais certainement plus triste que les formes qui furent adoptées dans la suite et qui seront décrites plus loin.

347. Escaliers à vis. — Si on donne une forme circulaire à un escalier compris entre murs, l'un des échiffres devient le mur d'une tour, le second échiffre se réduit à une colonne ou *noyau* et l'escalier se nomme un escalier à vis.

Comme exemple d'un escalier de ce genre, la fig. 618 montre celui d'un phare de petite dimension dont on a représenté une partie de la tour, à la plate-forme de laquelle il donne accès.

L'escalier tourne continuellement sur lui-même et présente juste la hauteur indispensable pour le passage. Le diamètre intérieur est de 1 m. 40. Le noyau plein a 0,24 de diamètre, de telle sorte que la longueur des marches ou l'emmarchement est de 0,58. Dans un escalier aussi étroit, la ligne de foulée est au milieu. C'est un cercle dont le rayon est $0{,}12 + \frac{0{,}58}{2} = 0{,}41$. Son développement est de 2 m. 58 et, comme il est divisé en 12 parties correspondant aux divisions des marches, il en résulte que le giron est réduit à 0,22.

Ces marches ont 0 m. 20 de hauteur ; l'espace libre compris entre le dessus d'une marche et le plafond de la révolution suivante, qui est immédiatement au-dessus, est de 12 fois 0,20, moins l'épaisseur verticale de l'escalier, 0,25 environ, $12 \times 0{,}20 - 0{,}25 = 2$ m. 15. Cette hauteur libre au-dessus d'une marche est ce qu'on appelle l'*échappée* de l'escalier. Il faut qu'elle soit au moins en rapport avec la hauteur de l'homme. On ne la fait guère inférieure à 2 m. 00 dans les escaliers où elle est la plus réduite.



Il reste à noter que cet escalier a des marches de cette hauteur, et une largeur aussi réduite, parce qu'il ne sert qu'au service du seul gardien qui le monte au plus quatre à cinq fois par jour. Pour un escalier plus fréquenté, desservant des habitations, il faudrait un diamètre un peu plus fort et une hauteur moindre des marches. Malgré tout, un escalier à vis est toujours incommode à cause du peu de largeur des marches près du noyau, mais il présente l'avantage de se loger dans un espace très restreint.

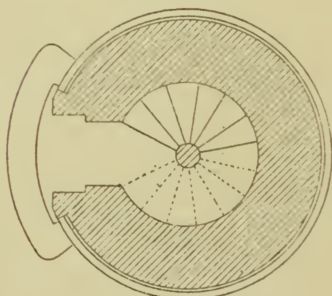


Fig. 618.

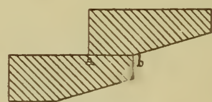


Fig. 619.

Si maintenant on passe à la construction, les marches peuvent être disposées à crossettes ou à joint plat, de telle sorte qu'une coupe par la foulée donnerait la forme représentée fig. 619. Chaque marche porte la partie de noyau qui lui correspond, et de l'autre bout s'engage de 0 m. 10 environ dans la maçonnerie du mur extérieur, de sorte que la vue en plan d'une marche se présente comme l'indique la fig. 620. La partie ponctuée correspond à sa surface inférieure.

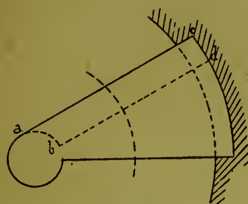


Fig. 620.

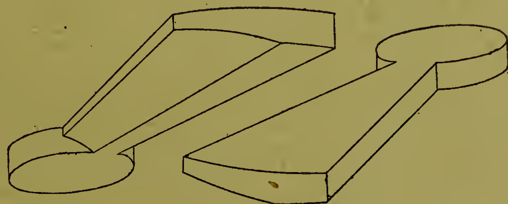


Fig. 621.

La fig. 621 montre en perspective le dessus et le dessous d'une marche avec la partie de noyau y attenant, dans le cas où les marches sont simplement posées les unes sur les autres avec un recouvrement de quelques centimètres, tandis que la fig. 622 montre, vue par dessus, la forme de la marche, dans le cas où le joint se retourne en crossette au plafond inférieur, comme l'appareil l'indique dans le dessin de phare de la fig. 618.

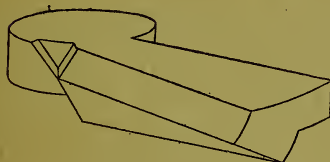


Fig. 622.

Si l'ampleur de l'escalier augmente, et en même temps le diamètre du noyau, ce dernier ne peut plus, à chaque assise,

faire partie de la marche correspondante ; on le construit alors séparément, avec les matériaux qui lui conviennent le mieux. En le montant, on réserve les encastrements nécessaires pour recevoir les extrémités des marches qu'il doit soutenir. La fig. 623 montre ainsi un noyau exécuté en pierre avec les entailles ménagées pour chacun des degrés successifs.

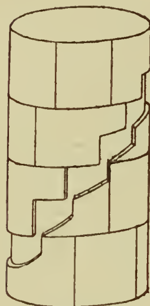


Fig. 623.

On trouve au château de Châteaudun un très bel exemple d'un escalier de ce genre ; il est figuré ci-contre. Le noyau en pierre est plein et de gros diamètre.

Une plinthe pour recevoir les marches, une cymaise de profil approprié, formant main courante, et une corniche supérieure le contournent en spirale, tandis que des panneaux verticaux avec sculptures décoratives sont élégamment découpés sur le restant de sa hauteur.

Le mur d'échiffre extérieur a sa surface polygonale en pierre nue, découpée de distance en distance par des colonnettes portées par des culs de lampe.

Ces colonnes soutiennent les angles et portent une série d'arcs rampants de faible saillie au-dessus desquels court la corniche qui suit le dessous des marches.

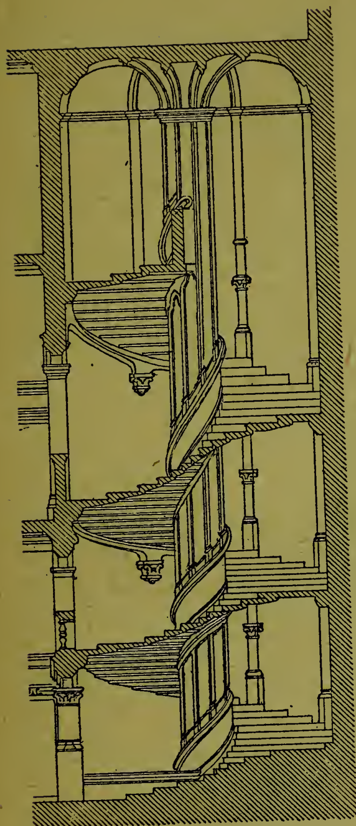
L'escalier a sa cage ouverte largement sur des galeries correspondant aux étages, auxquels il donne accès et sur lesquelles il s'éclaire.

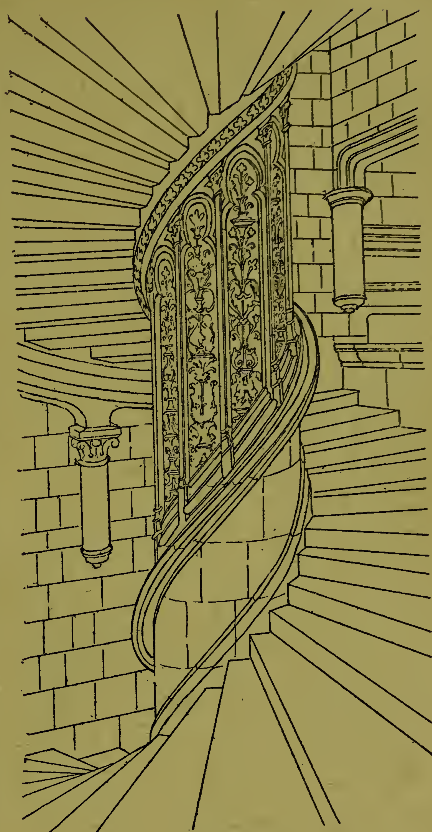
La fig. 625 donne le détail d'un étage du noyau, et la décoration de ses parements.

Entre la cymaise et la corniche rampante huit colonnettes à demi engagées sont réparties sur la face du noyau, et les intervalles plans qui les séparent sont creusés en panneaux renfoncés avec grosse moulure d'encadrement.

Sur le fond des panneaux de gracieuses sculptures ajoutent encore à la légèreté de l'ensemble.

Le même détail indique la corniche du mur d'échiffre extérieur, qui vient ramper au plafond des marches et accompagner la saillie qui doit les soutenir.





Fig, 625.

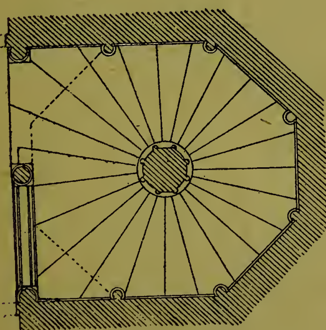


Fig. 624.

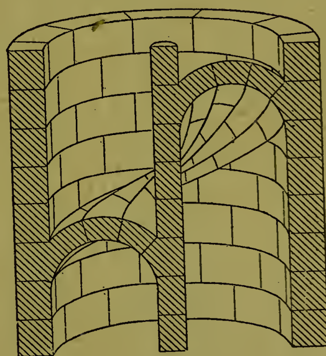


Fig. 626.

348. Escalier vis St-Gilles. — Les escaliers à vis peuvent avoir leurs marches soutenues par une voûte annulaire en spirale jetée entre le noyau et le mur d'échiffre extérieur, comme celle qui est représenté fig. 626. Ces sortes de voûtes s'appellent *vis St-Gilles* du nom d'un prieuré de Provence où il s'en trouve un spécimen.

349. Escalier vis à jour sur colonnes. — Lorsque le diamètre de la cage augmente, on est obligé d'augmenter aussi le diamètre du noyau, qui devient alors trop massif. On peut l'évider en le remplaçant par un mur circulaire, et dans bien des cas, on évide ce mur circulaire dans la hauteur comprise entre les spires de la vis.

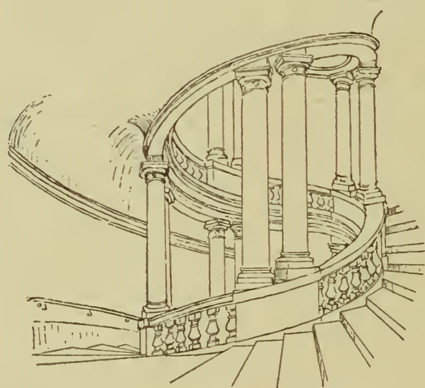


Fig. 627.

On a alors un effet décoratif très considérable ; les marches sont soutenues par un entablement rampant supporté lui-même par des colonnes en séries superposées ;une balustrade en hélice contourne les sinuosités des marches.

Nous empruntons à l'excellent cours de M. Brune, le croquis d'un escalier ainsi construit au palais Barberini.

Les colonnes sont accouplées et reposent sur des soubassements pleins, de la hauteur de la balustrade, séparés par des parties ajourées.

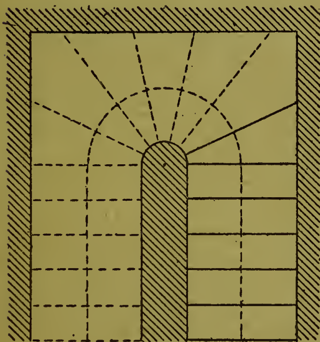
Le biais de l'entablement est pris soit sur des socles infé-

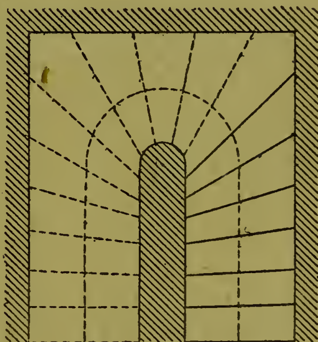
rieurs qui sont au-dessous des bases, soit sur les pierres de forme appropriées qui surmontent les chapiteaux.

Le dessous des marches peut former une voûte très surbaissée, ce qui arrive dans l'exemple qui vient d'être cité et on a une *vis St-Gilles à noyau évidé*. Le dessous des marches peut former un plafond hélicoidal et on a un escalier *vis à jour sur colonnes*.

Le mur d'échiffre extérieur peut être lui-même posé sur colonnes ; c'est encore une disposition dont on rencontre de très intéressants exemples.

350. Escaliers à quartiers tournants entre murs. Balancement des marches. — On peut combiner ensemble, l'escalier droit et l'escalier à vis et on obtient le *quartier tournant*. On utilise ainsi, pour restreindre la place occupée par l'escalier, l'emplacement qui aurait été consacré à un palier, et on obtient la disposition fig. 628. La cage comprise entre les murs d'échiffre extérieurs peut être ou circulaire ou carrée ; le mur d'échiffre milieu se termine en un demi-noyau arrondi, dans lequel viennent s'encastrer les marches du quartier tournant. Cette disposition n'est pas employée ainsi parce qu'elle donne, dans un escalier développé, les inconvénients des escaliers à vis.


Fig. 628.


Fig. 629.

Le passage brusque des marches droites aux marches en pointes fait ressortir le peu de commodité de ces dernières.

On améliore et on rend possible le quartier tournant par la

la disposition que l'on nomme le *balancement des marches*; elle consiste à les incliner progressivement bien avant le centre de la partie tournante, ainsi que le montre le tracé de la fig. 629. Avec cette amélioration, l'escalier tournant devient possible, et, exécuté non plus entre murs, mais dans ces cages ouvertes, il est devenu le type des escaliers des habitations ordinaires.

Les escaliers à quartiers tournants compris entre murs sont réservés en général pour les escaliers de caves placés autant que possible au dessous des escaliers des étages.

351. Escaliers suspendus. — Dans les habitations, pour avoir des escaliers plus gais et plus décoratifs, on les établit dans des cages plus ou moins spacieuses autour desquelles ils tournent pour trouver le développement nécessaire.

Si le giron est de 0,30 pour une hauteur de 0,15 de la marche, on voit que le développement de la ligne de foulée, somme des girons, doit être double de la hauteur verticale à franchir.

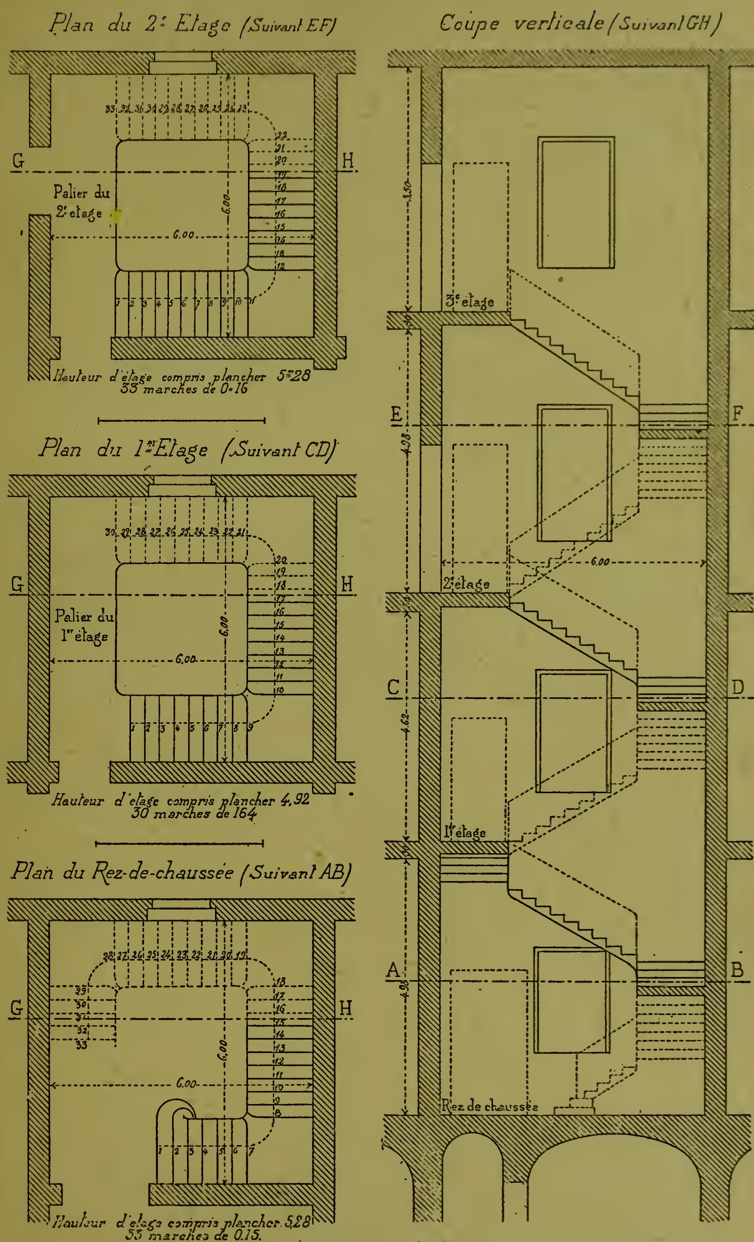
Ordinairement l'escalier fait un tour de cage pour chaque étage à desservir, et la partie d'escalier correspondant à un étage se nomme une révolution d'escalier.

Les révolutions des étages successifs se placent dans la même cage, les unes au-dessus des autres, en ayant soin que la distance verticale libre au-dessus de chaque marche, et que nous avons appelée l'échappée, soit suffisante pour le passage et aussi pour l'apparence de l'ouvrage. Pour le passage, il est nécessaire d'avoir 2m.00 libres. Pour l'aspect il est souvent indispensable d'avoir 2m.50 à 3m.00 au moins. C'est ce que montre la représentation géométrique sur le papier et en divers sens de l'ensemble de l'escalier.

Lersque les étages sont élevés, il est fatiguant de monter sans repos la révolution complète de l'escalier. On ne met pas plus d'une vingtaine de marches à la suite sans palier, et on rapproche souvent les repos davantage.

La disposition de l'escalier dans sa cage détermine d'avance la position des repos.

On a représenté fig. 630 un escalier ayant à desservir un bâtiment dont les hauteurs d'étage sont :



Plan du 2e Etage (Suivant EF)
Palier du 2e étage
6.00
G
H
Hauteur d'étage compris plancher 5m28
33 marches de 0.16
Plan du 1er Etage (Suivant CD)
Palier du 1er étage
Hauteur d'étage compris plancher 4.92
30 marches de 164
Plan du Rez-de-chaussée (Suivant AB)
Hauteur d'étage compris plancher 5.28
33 marches de 0.15.
Coupe verticale (Suivant GH)
3e étage
2e étage
1er étage
Rez de chaussée
A
B
C
D
E
F

Fig. 630

Rez-de-chaussée compris plancher		5,28
1er étage	—	4,92
2e étage	—	5,28

Du rez-de-chaussée au 1er étage on a mis 33 marches de 0,16.
Du 1er au 2e étage on a mis 30 marches de 0,164.
Du 2e au 3e étage on a mis 33 marches de 0,16.

La cage a 6m.00 sur 6m.00 et on a disposé les montées successives pour établir des paliers aux angles et n'avoir que des marches droites. Ce genre d'escalier porte le nom d'escalier à la Française.

L'emmarchement est de 1m.45. Le giron est variable de 0,31 à 0,34, suivant les montées et leurs nombres de marches.

Les deux marches de départ du bas sont à volutes.

Les paliers sont en pierres d'une seule pièce et maintenus par leur résistance et leurs scellements dans les murs.

Les plans successifs ainsi que la coupe longitudinale suivant GH donnent la disposition des degrés de chaque montée ainsi que la forme des paliers ; ils indiquent aux paliers d'étage la position des portes à desservir.

La partie vide du milieu se nomme le *jour*. L'escalier est complètement ouvert du côté du jour et est séparé du vide par une balustrade métallique.

Le principe de construction des escaliers suspendus est d'avoir chaque marche scellée par une seule extrémité dans le mur d'échiffre extérieur et ne tenant pas autrement que par ce scellement et l'appui qu'elle trouve sur la marche immédiatement inférieure.

Les marches reposant ainsi les unes des autres, plusieurs scellements concourent à porter la charge ; mais on comprend qu'il ne faut pas compter sur cette construction pour des escaliers un peu larges. Pour des emmarchements de 1m.50 à 1m.80, il faut déjà tout ce qu'il y a de plus résistant comme pierre et un appareillage très soigné.

L'inconvénient de ce genre de construction est qu'il faut s'en rapporter aux escaliers de cette sorte déjà exécutés et qui ont prouvé leur stabilité, pour pouvoir, par cette comparaison, juger de leur résistance. Il n'existe aucun moyen de calculer analytiquement les dimensions d'une montée ayant à résister à

une charge donnée et devant présenter toute sécurité. La pierre y travaille à la flexion et le moindre défaut peut déterminer une rupture.

Dans le centre et le midi de la France, on exécute ainsi partout des escaliers en pierres de Villebois ou de Volvic, d'une très grande hardiesse et les ruptures y sont rares.

Les marches successives viennent porter les unes sur les autres par l'intermédiaire d'un joint horizontal retourné en crossette sur le plafond, quelquefois assez développé ; dans d'autres cas il se réduit à quelques centimètres de largeur.

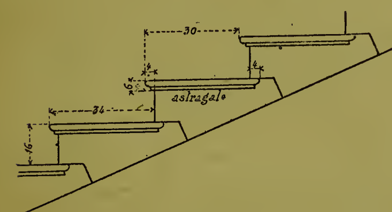


Fig. 631.

Le plafond inférieur peut être continu comme le montre l'élévation du côté du jour de la fig. 631.

Il peut aussi être discontinu, chaque partie de plafond incliné étant séparée, de la suivante par une face verticale nécessitée par l'épaisseur qu'il est indispensable à donner à la marche fig. 632.

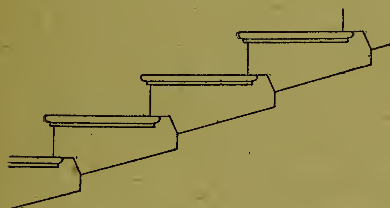


Fig. 632.

On peut avoir un escalier composé de marches non parallèles, ou marches *dansantes*, dans une cage rectangulaire ou de forme courbe. La fig. 633 en donne un exemple pour un étage complet, en plan et en coupe longitudiale.

La hauteur d'étage compris plancher est de 3m.94, et la révolution se compose de 24 marches de 0,164 chacune. Le palier peut être supposé d'une seule pièce sur la longueur de la cage soit 8m 00. Il peut aussi être voûté, si on n'a pas trouvé de pierre de qualité et de dimensions convenables. La ligne de foulée est tracée à 0m.50 de distance du jour, et, suivant cette ligne, le giron est de 0m. 30. Les marches sont scellées dans le mur d'échiffre et viennent reposer les unes sur les autres par le moyen de l'un des joints représentés dans les figures

631 et 632. L'emmarchement est de 1m.40 ; la largeur du palier est de 1m.70 de manière à pouvoir desservir les deux

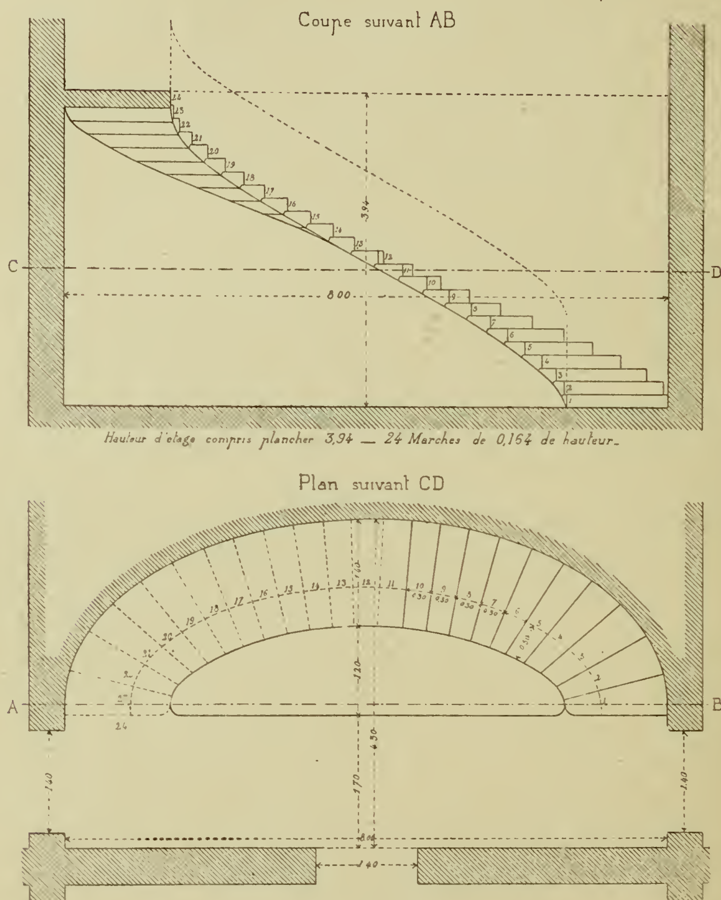


Fig. 633.

portes d'extrémité qui ont 1m.40, et laisser libre les écoinçons nécessaires à la décoration des chambranles d'encadrement.

352. Différentes formes de cages. — La forme qu'affectent les cages dépend de la distribution même que l'on adopte pour l'intérieur des bâtiments qui sont à desservir.

On ne peut pas toujours arriver à une forme parfaitement régulière, limitée soit par un rectangle, soit par un cercle, soit

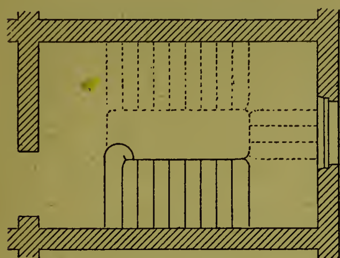


Fig. 634.

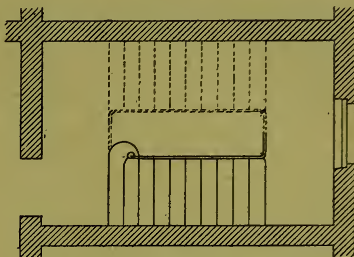


Fig. 635.

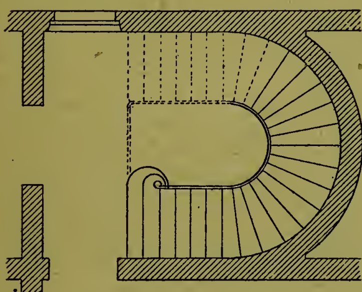


Fig. 636.

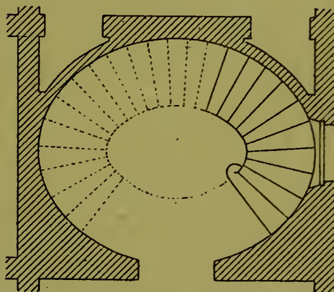


Fig. 637.

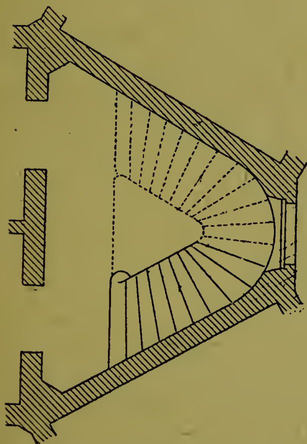


Fig. 638.



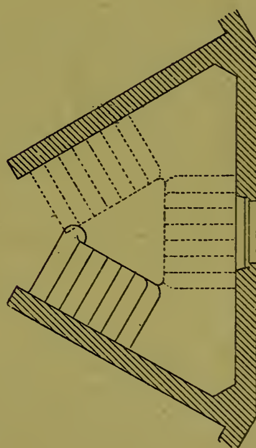


Fig. 639.

même par une combinaison des deux formant fer à cheval.

Quelquefois on arrive à une ellipse ; d'autres fois on doit se contenter d'une cage triangulaire plus ou moins irrégulière.

Les escaliers s'accomodent de toutes ces dispositions, comme le montrent les six dispositions représentées ci-contre fig. 634 à 639.

Deux grandes divisions se présentent :

1° Ceux qui comportent dans la hauteur d'un étage des paliers de repos, et dont les marches de chaque montée partielle sont régulières et parallèles. Ce sont les escaliers dits à montées droites et quelquefois *à la Française*. Ils sont représentés fig.634, 635 et 639.

2° Ceux qui franchissent tout d'une traite l'espace vertical compris entre deux planchers consécutifs, les marches balancées de manière à contourner les murs de la cage avec un giron aussi régulier que possible. Ce sont les escaliers à *quartiers tournants* comme ceux qui sont représentés dans les fig. 636, 637 et 638.

Dans tous ces escaliers on prend comme principe de construction de donner aux paliers d'arrêt toute la solidité possible, soit en les construisant d'une seule pierre dure suffisamment épaisse, soit en les voûtant, et d'appuyer sur ces paliers les pierres des marches des montées successives.

353. Escaliers suspendus avec limons. — Le limon est une fraction de mur, suspendu comme les marches, placé du côté du jour, et recevant l'encastrement des têtes de marches.

Si l'on fait une coupe transversale d'une montée dans un escalier à limon, elle se présente comme le montre la fig. 640 ; la partie *a* est le limon ; il a environ 0m. 20 de largeur et 0,30 à 0,40 de hauteur.

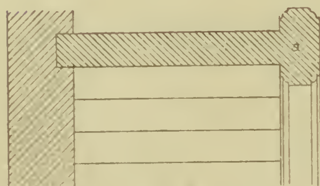


Fig. 640.

Lorsque l'escalier a un développement un peu grand, le limon ne peut être en une pièce, et on le compose, soit d'une série de saillies convenables taillées dans la même pierre que chaque marche, soit de plusieurs pierres séparées, assemblées bout à bout, et recevant latéralement les

têtes de marches au moyen d'entailles dans lesquelles elles viennent s'encastrer.

Dans le premier cas la saillie que porte chaque marche prend le nom de *collet*, l'ensemble des collets forme le limon. La fig. 641 indique la forme des joints qui séparent les collets successifs.

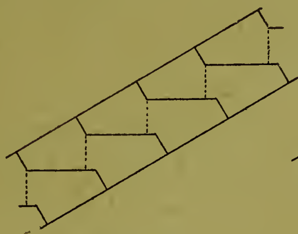


Fig. 641.

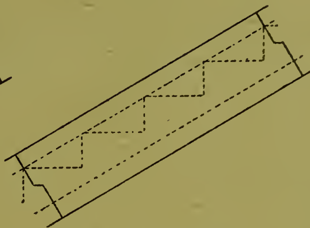


Fig. 642.

Cette disposition présente l'inconvénient que le collet vient charger la marche de son poids et diminuer encore la solidité de l'escalier, suspendu seulement sur ses scellements.

La seconde disposition est plus heureuse au point de vue de la solidité ; chaque morceau de limon correspond dans sa longueur à 4 à 5 marches et il se relie aux autres par les joints brisés de la fig. 642.

S'il charge les marches de son poids comme dans l'exemple précédent, il compense cet inconvénient en en réunissant plusieurs ensemble, et les forçant à travailler à la fois pour porter la charge.

L'assemblage d'une marche avec le limon se fait au moyen d'une entaille *a*, fig. 643 dans laquelle vient pénétrer la marche *m*. Souvent la partie inférieure du limon est plus large que la partie haute pour mieux porter la marche.

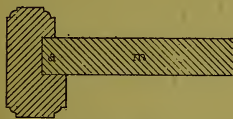


Fig. 643.

Le départ d'un escalier à limon à partir du sol du rez-de-chaussée se fait de la façon suivante :

Sur un massif de fondation convenable on vient poser les deux premières marches *a* et *b*, fig. 644.

Ces marches sont très développées. La première *a* porte une grande volute, la seconde *b* une volute plus petite inscrite dans

la première. C'est sur ces deux marches que l'on va porter le limon. Il pose sur la surface de la seconde au moyen d'une volute horizontale que porte son premier morceau, et un joint à crossette se fait sur l'arête de la 2e marche.

La 3e marche se pose sur la 2e, et s'arrondit encore près du limon pour s'amortir normalement à sa surface cylindrique. Sur l'élévation du limon, on a représenté en ponctué l'entaille nécessaire pour recevoir les marches, cette entaille étant creusée sur la face intérieure.

Comme on l'a vu déjà pour les perrons, le giron des marches courantes étant de 0,32 on porte à 0,35 celui de la marche n° 2 et à 0,40 celui de la marche n° 1. Cela engage la montée, de même que les volutes donnent de l'ouverture à l'escalier.

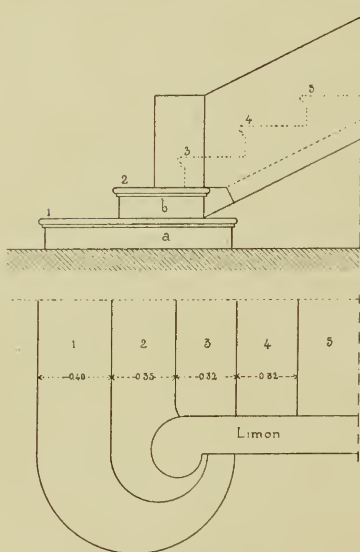


Fig. 644.

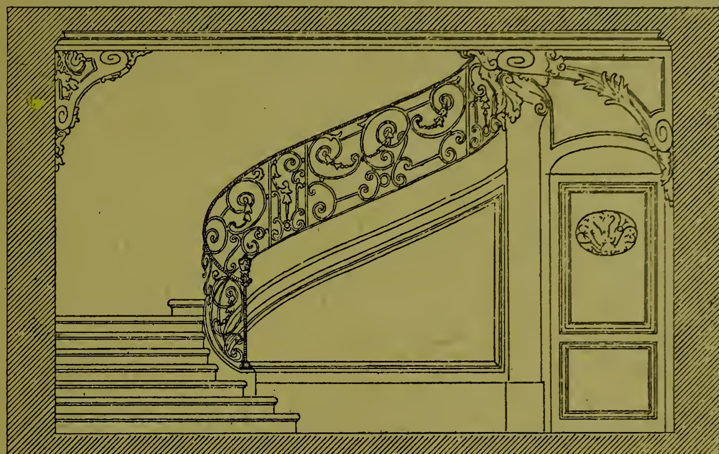
Dans la plupart des escaliers, on établit sur mur la première montée de l'escalier, ou les 12 à 15 premières marches s'il est continu. On y trouve l'avantage de supprimer l'espace sous les marches, difficile à entretenir du moment qu'on ne peut y accéder, en même temps que l'on donne à la révolution de l'escalier un support plus solide.

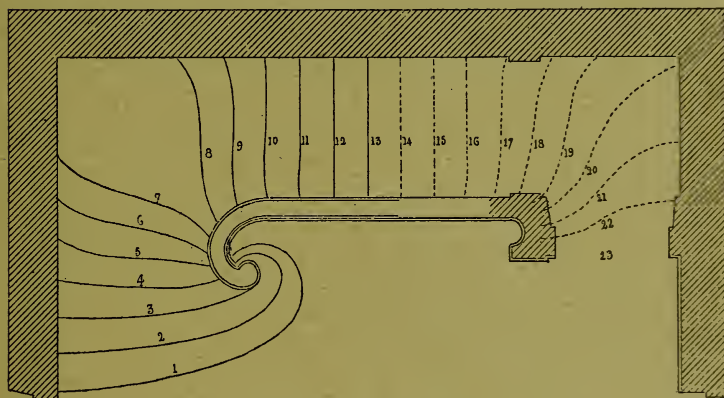
Quelquefois la première révolution tout entière est montée sur mur, et on en profite pour établir en dessous l'escalier qui descend à la cave. La fig. 645 représente le plan et l'élévation d'un départ d'escalier à limon dont la première révolution est ainsi montée sur mur, et dont le dessous est utilisé comme descente à l'étage souterrain.

Dans cet escalier la hauteur à franchir est de 3,73. La révolution se compose de 23 marches de 0,162 et d'une largeur de giron de 0,32.

Le limon est simplement mouluré sur les arêtes et il porte

une rampe en fer forgé. Le mur qui le supporte est muni d'une plinthe inférieure et limité par un pilastre vertical. Son tympan triangulaire est garni d'un cadre mouluré.





Hauteur d'Etage 3m73.

23 marches 0.162.

Fig. 645.

354. Divers exemples. — Comme premier exemple d'un escalier à limon en pierre, nous représentons, fig. 646 et 647, celui d'un hôtel rue Séguier, à Paris [1], construit dans une cage triangulaire de 8 m. 15 sur 4 m. 50. La révolution, qui du rez-de-chaussée va au premier étage, a 36 marches de 0 m. 15 de hauteur et trois paliers d'angle intermédiaires ; les 17 premières marches sont montées sur mur et un limon en pierre droit sur une certaine longueur, part du deuxième palier d'angle, en commençant par une partie cintrée qui lui donne beaucoup de solidité ; il se retourne au troisième palier pour soutenir les 4 dernières marches et vient buter contre le long palier du premier étage.

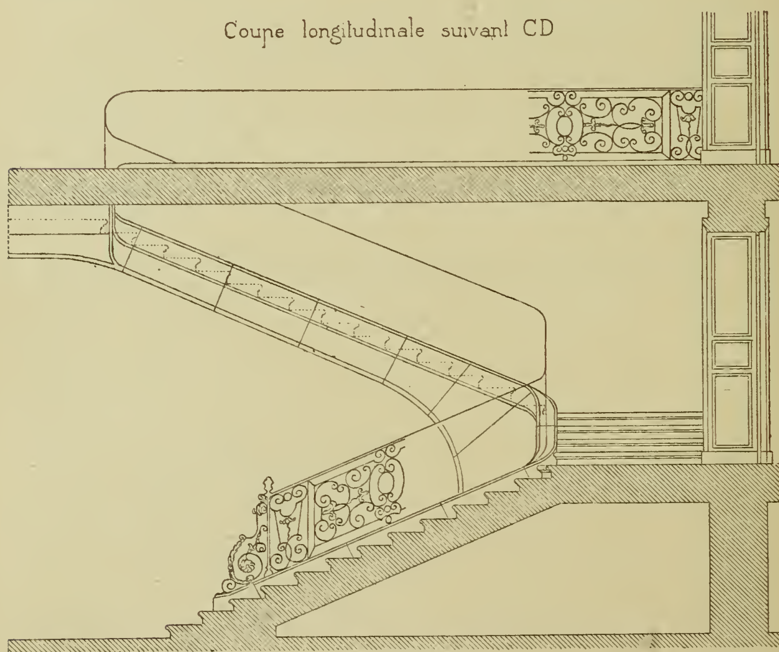


Fig. 646.

Ce limon arrase le dessous des marches et les dépasse notablement à leur partie supérieure. Ses faces hautes ont leurs

1. Voir pour plus de détails la *Revue générale de l'Architecture et des Travaux publics*, année 1875.

arêtes moulurées, et il est surmonté d'une rampe en fer forgé qui suit toutes ses courbures.

L'appareil est indiqué dans la coupe longitudinale. Les joints sont normaux à l'intrados pour la partie voûtée, et à l'arête rampante pour le reste. Ils peuvent être brisés dans l'intérieur du limon, mais la brisure s'arrête à quelques centimètres du parement pour ne point paraître en façade.

Quand au palier, il est droit et voûté en platebande.

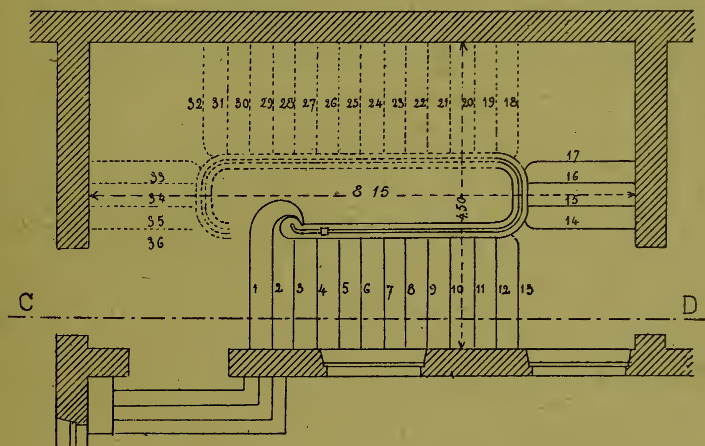


Fig. 647.

L'emmarchement est de 1 m. 60, de même que la largeur des paliers. La cage est très simple comme ornementation ; elle est éclairée par trois grandes fenêtres sur cour. L'entrée du rez-de-chaussée est à l'encoignure au-dessous de la première fenêtre du premier étage. Le palier haut occupe toute la longueur et donne accès à une porte à chaque bout.

Voici, fig. 648, l'exemple d'un escalier à limon en pierre, avec une balustrade également en pierre, qui le surmonte. Les quinze premières marches sont montées sur murs, et, au-delà, les suivantes viennent s'encastrer dans le limon. Ce dernier

s'étend jusqu'à un palier voûté qui reçoit son dernier voussoir. Le limon sert de socle à une balustrade à jour. La balustrade part d'un pilastre posé sur trois marches à volutes et suit tous les contours du limon. Les lignes de balustres sont heureusement interrompues aux parties tournantes et remplacées par des alettes pleines, ce qui donne de la rigidité et de la résis-

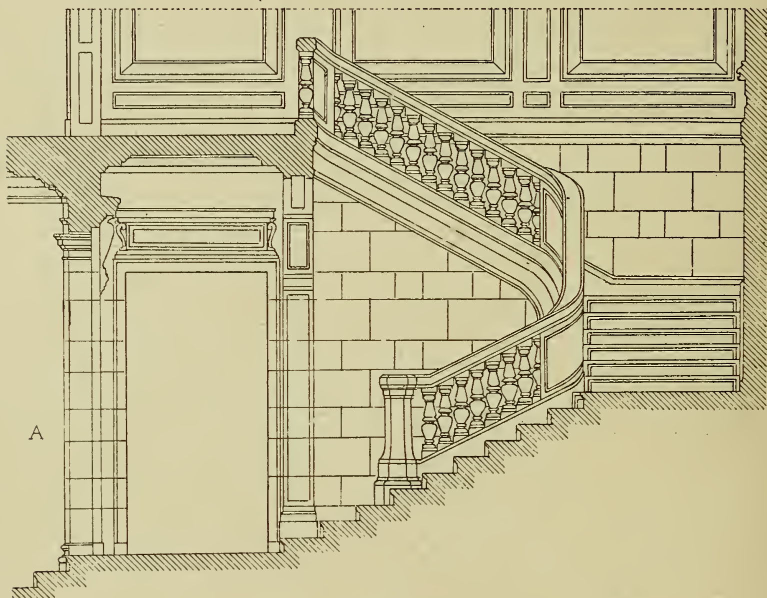


Fig. 648.

tance à l'ensemble ; d'autres alettes se trouvent au milieu des balustres du palier et à l'extrémité qui vient s'amortir contre la cage ; une main-courante en pierre forme couronnement et surmonte le tout.

On arrive à la cage d'escalier en passant par un vestibule A et par une porte placée dans l'axe. La cage est partagée en deux parties par les pilastres qui soutiennent la voûte de rive du palier. La première partie où on accède comprend les portes communiquant avec les locaux à rez-de-chaussée. La seconde partie est celle où sont les diverses volées de l'escalier.

Dans le sens vertical, la cage est divisée en deux parties par un bandeau qui règne avec le socle ou plinthe du palier du pre-

mier étage. La partie basse est traitée en soubassement ; l'appareil de pierre est la seule décoration. La partie du premier étage est, au contraire, décorée par une série de panneaux moulurés dont la figure montre les parties basses.

Cet escalier est très bien étudié et d'un heureux aspect.

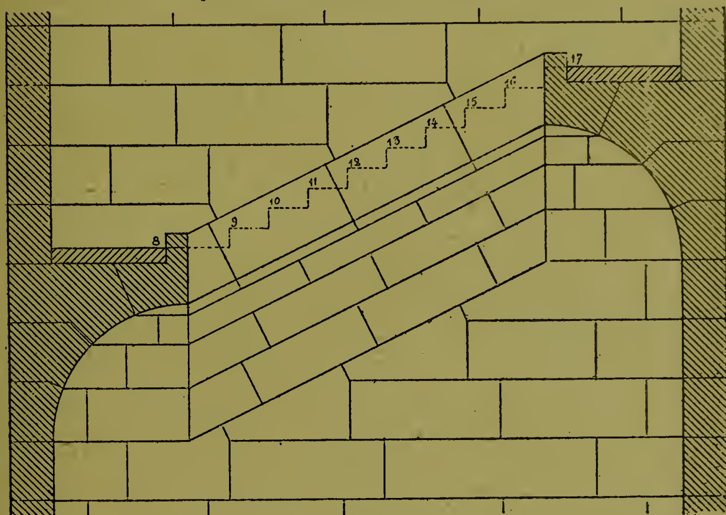


Fig. 649.

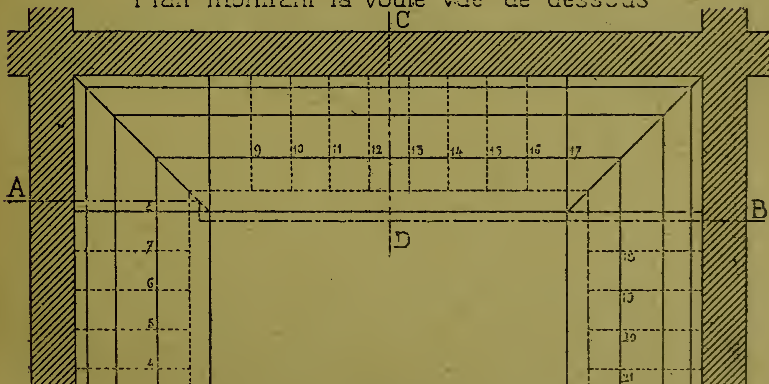


Fig. 650

355. Escaliers voûtés en encorbellement avec paliers en arc de cloître. — Une autre manière de soutenir les marches d'une montée ou volée d'escalier à la française consiste à la porter par un demi-berceau cylindrique dont les génératrices seraient parallèles au mur d'échiffre. Ce demi-berceau, représenté dans les fig. 649 et 650, a ses différents voussoirs incorporés au mur pour les trois premières assises, et présentant, par suite, toute solidité. Le quatrième voussoir seul, qui forme la rive et comprend le limon, est abandonné et ne tient que par l'adhérence des différentes pierres qui le composent, soit entre elles, soit avec les pierres du voussoir précédent.

La pierre des marches, indépendante de la construction de la voûte et du limon, peut être d'une qualité bien supérieure et d'une résistance bien plus grande à l'usure. La coupe transversale des montées est représentée fig. 659 et montre l'appareil qui vient d'être décrit.

Les différentes montées sont séparées par des paliers d'angle qui sont soutenus par des voûtes en arc de cloître dont les voussoirs correspondent à ceux des montées voisines. Les arcs de cloître ont, pour leurs génératrices, une direction différente de celle des génératrices du berceau de la montée ; de là, une arête d'intersection tantôt saillante, tantôt rentrante, qui se trouve comprise dans un plan perpendiculaire au mur d'échiffre et qui se projette en plan et en élévation suivant une droite.

La fig. 650 montre le plan vu de dessous, et la coupe longitudinale de cet escalier, suivant la ligne brisée AB, est représentée fig. 649.

356. Escaliers voûtés en encorbellement avec paliers sur trompes coniques. — Un autre moyen de soutenir les paliers est de les porter sur des trompes coniques, dont les voussoirs se raccordent, comme joints, avec ceux des berceaux en descente qui supportent les marches

La fig. 651 donne en plan, vu de dessous, l'appareil qui soutient le palier et le relie aux voussoirs des descentes ; elle montre également la coupe longitudinale de l'escalier suivant la ligne

brisée AB. Quant à la coupe transversale de la montée suivant CD, elle est disposée comme celle de l'exemple précédent et



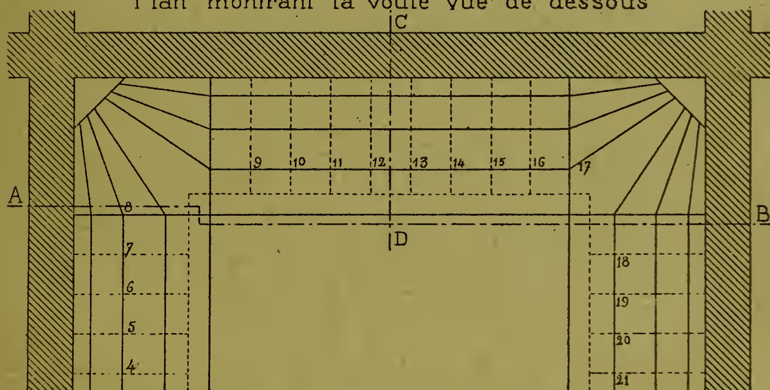


Fig. 651.

représentée par la même figure 651. On remarquera dans ces deux exemples, que, pour conserver au limon sa régularité, et pour que son arête supérieure soit toujours à même distance des nez de marches, on doit avancer chaque palier d'une lar-

geur de marche du côté de la montée suivante. Sans cela, on aurait deux hauteurs de marches successives au même point du limon, et son épaisseur ordinaire ne suffirait pas pour les contenir ; la contremarche n° 9 et la contremarche n° 18 sont donc reculées pour cette raison des angles des paliers d'une largeur de giron.

On ne voûte ainsi généralement que les escaliers à montées droites, et dont la régularité permet de donner aux berceaux et aux voûtes des paliers un aspect agréable.

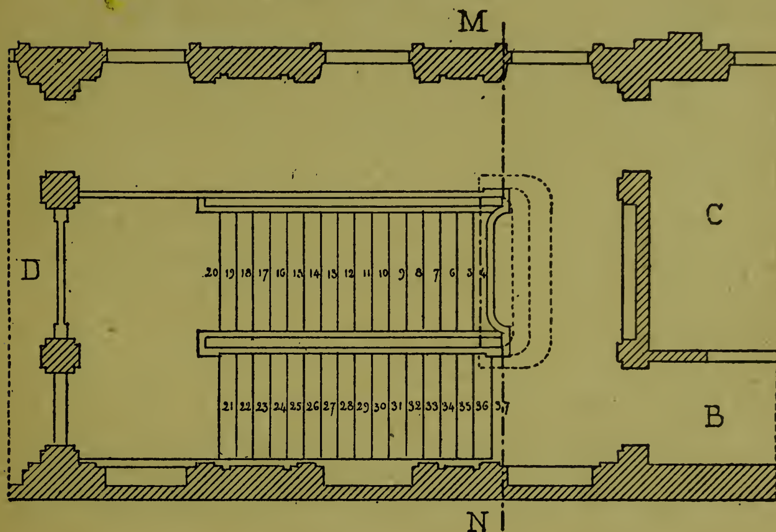
On ne peut appliquer non plus cette disposition aux escaliers de grandes dimensions, parce que plusieurs voussoirs sont séparés du mur et ne donneraient pas toute la résistance et la sécurité désirables. On cherche alors à appareiller l'escalier en demi-voûte dans le sens transversal et en voûte complète dans le sens longitudinal pour obtenir des constructions plus solides.

357. Escaliers sur voûtes complètes. — Un exemple très élégant d'escaliers sur voûtes complètes se trouve dans l'hôtel de Juigné, rue de Thorigny, à Paris. Il n'a qu'une révolution comme les escaliers principaux de presque tous les hôtels privés, qui ne mènent qu'aux pièces de réception. Il présente une première montée de 20 marches posée sur murs au milieu d'une belle cage d'environ 11 m. 00 sur 7 m. 50, et cette montée produit un très bel effet. Elle conduit à un palier à mi-étage, duquel une seconde volée part sur voûte rampante pour gagner à la trente-septième marche le niveau du premier plancher. Dans le sens transversal, le profil est celui d'une demi-voûte.

Le palier transversal d'arrivée est soutenu par une voûte de même forme, avec balcon légèrement saillant au-dessus du jour du milieu. A ce palier vient s'en joindre un autre, longeant les fenêtres de la façade et conduisant aux appartements situés de l'autre côté de la cage. Ce palier longitudinal est porté sur une grande voûte plate de même forme que les précédentes.

Les fig. 652 et 653 représentent les plans à deux niveaux différents de ce remarquable escalier.

Le plan inférieur montre le vestibule A auquel on accède de la cour d'entrée par un perron de quatre marches. Il communi-



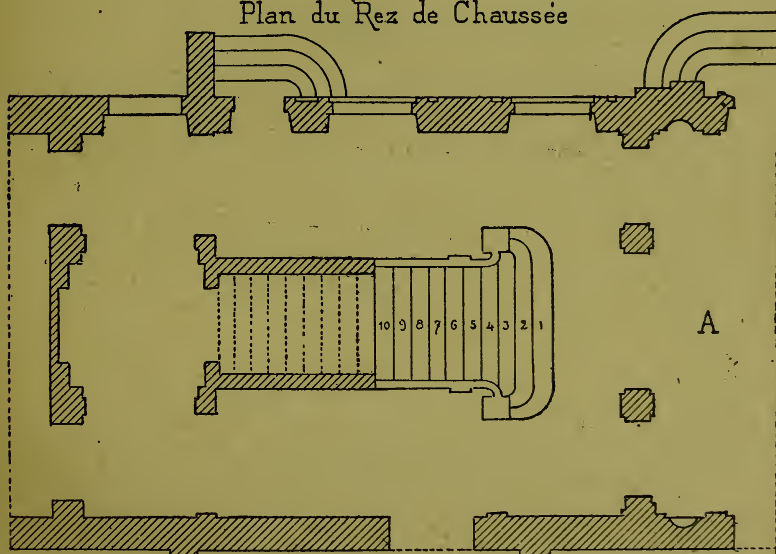
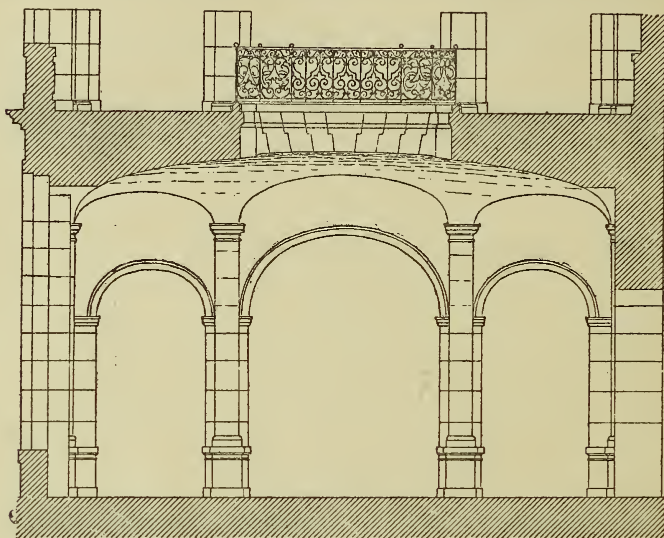


Fig. 652 et 653.

que avec la cage de l'escalier par trois grandes arcades ; celle du milieu fait face aux premières marches et est la plus im-



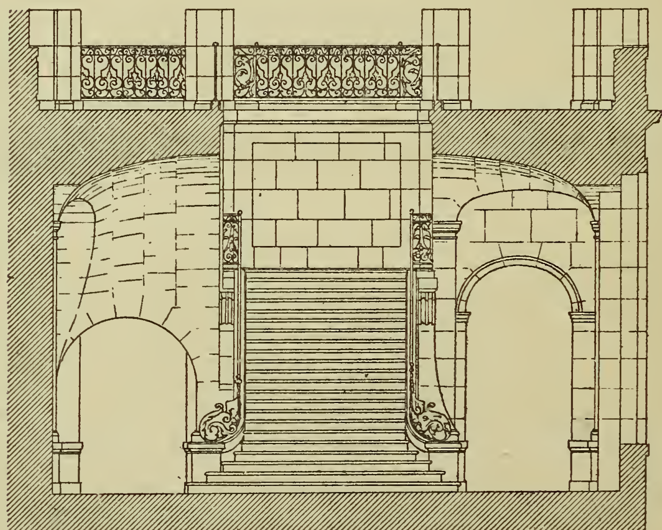


Fig. 654 et 655.

portante. On peut tourner tout autour de cette première mon-

tée pour se rendre aux différentes parties du rez-de-chaussée. Au-dessous, se trouve une large descente aux locaux en sous-sol.

Les limons de la première montée s'évasent à la partie inférieure et viennent s'amortir d'équerre sur deux pilastres bas. Ils sont surmontés d'une rampe remarquable en fer forgé.

Du côté de l'arrivée, les arcades sont décorées d'archivoltes et viennent retomber sur des pilastres portant des moulures d'impostes. Ces pilastres sont adossés à d'autres plus grands qui reçoivent sur leurs chapiteaux les sommiers de voûtes de pénétrations, et les parties de murs comprises entre les voûtes et les archivoltes sont décorées de sculptures.

Dans les façades longitudinales, le principe de la disposition est le même. De grandes pénétrations existent dans la voûte rampante et dans celle du palier, et les charges sont reportées sur des pilastres analogues aux précédents. Ces pénétrations du côté de la façade ont pour but de dégager les fenêtres ; au fond, ils forment simple répétition.

Le palier du premier étage donne accès : premièrement à des locaux B et C au-dessus du vestibule A, et en second lieu à une antichambre D qui précède les salles de réception. Une grande arcade au milieu et une petite à côté, répétant l'entrée de l'antichambre, sont ouvertes du côté de l'escalier et munies de rampes de protection.

Les figures 654 et 655 montrent une même coupe suivant MN, vue successivement de l'un et de l'autre côté ; elle permet de se rendre compte de la disposition des voûtes de ce bel escalier.

Un autre escalier remarquable existe au Palais de Versailles dans l'aile du Nord. Il est figuré en coupe longitudinale dans la fig. 656, qui est extraite de la *Revue générale de l'architecture et des travaux publics*, année 1855. Le principe adopté par l'architecte, M. Questel, a été souvent employé aux XVIIe et XVIIIe siècles. Il consiste à faire porter les marches et les paliers sur des limons en forme d'arcs, qui s'entrecroisent et rejettent sur les murs de la cage toutes leurs poussées.

Chaque arc général est formé de trois arcs partiels. Les deux extrêmes sont formés de quarts de cercles cintrés sur les murs

mêmes du bâtiment, et recevant la butée de l'arc milieu, droit ou rampant suivant le cas. Les retombées dans les murs sont reçues sur des consoles faisant partie des assises de la cons-

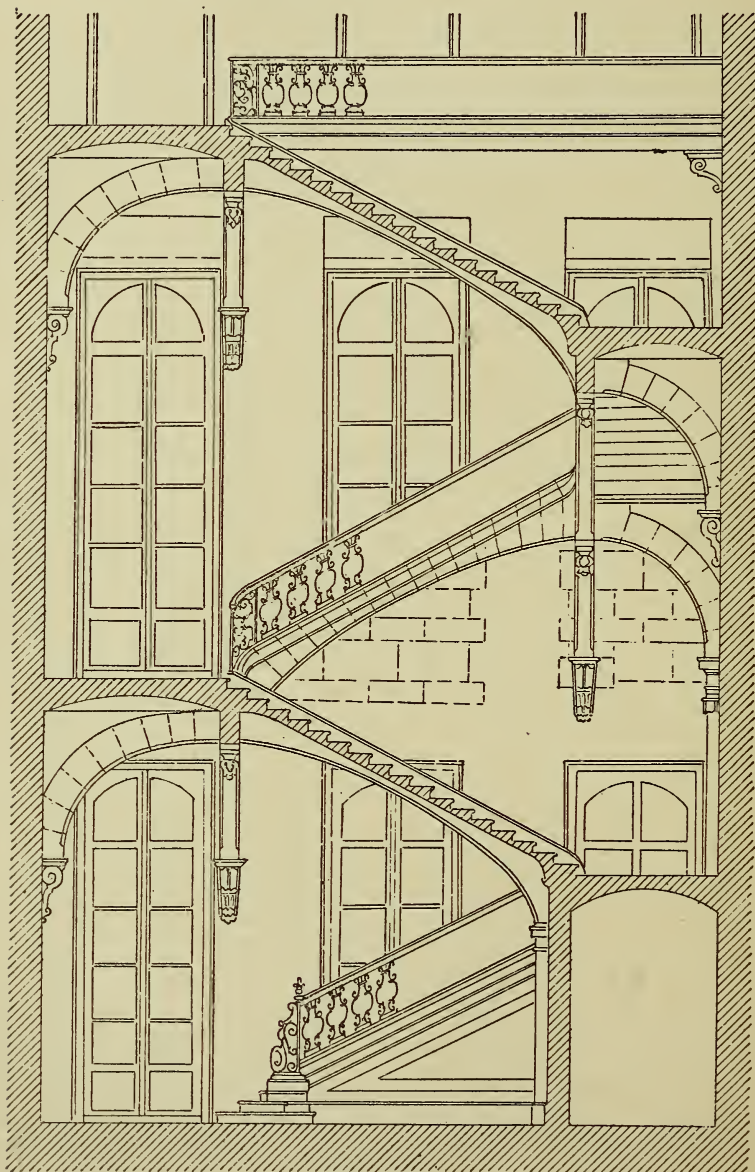


Fig. 656.

truction. Les croisements sont décorés de clefs pendantes portant des culs-de-lampes ornés. La fig. 657 donne une perspective d'un de ces croisements intéressants vu par dessous.

Les marches sont scellées dans le mur de la cage d'une part, et, de l'autre bout, viennent s'encastrer dans le limon. Les paliers sont formés par des voûtes très plates appuyées et sur la cage et sur les arcs voisins.

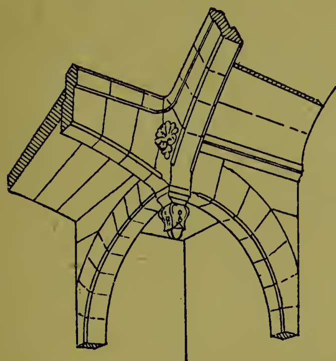


Fig. 657.

La rampe est en fer forgé et formée par une suite de balustres ornés de tôle repoussée.

Nous renvoyons à la *Revue générale de l'Architecture et des Travaux publics* (année 1855), pour les dessins ou détails complémentaires de cette remarquable construction.

CHAPITRE VIII

ÉLÉMENTS
DE
DÉCORATION INTÉRIEURE

§ 1. *Décoration des murs*
§ 2. *Décoration des fenêtres et portes*
§ 3. *Des cheminées*
§ 4. *Décoration des plafonds et voûtes.*

SOMMAIRE :

§ 1. — *Décoration des murs :* 358. Décoration des murs intérieurs; parement uni en matériaux divers. — 359. Socle inférieur simple ou composé; corniche. — 360. Décoration des parements par panneaux moulurés. — 361. Décoration par pilastres ou colonnes engagés avec entablement complet. — 362. Décoration avec pilastres et colonnes isolés, avec arcades liées à des ordres. — 363. Décoration des cages d'escalier avec panneaux variés. — 364. Avec application des principes des ordres.

§ 2. — *Décoration des fenêtres et portes* : 365. Décoration intérieure des fenêtres. — 366. Décoration des portes. — 367. Attiques et frontons restreints.

§ 3. — *Des cheminées* : 368. Des chambranles de cheminées ordinaires du commerce; diverses formes. — 369. Décoration d'une face de mur avec cheminée. — 370. Cheminées monumentales.

§ 4. — *Décoration des plafonds et voûtes* : 371. Décoration des plafonds; corniche simple. — 372. Plafond avec avant-corps et caisson au milieu. — 373. Plafond avec avant-corps et rosace en carton-pâte. — 374. Plafonds de formes variées avec moulures décorées en carton-pâte. — 375. Plafonds avec ovales et tympans. — 376. Division en caissons. — 377. Imitation en staff des solives et poutres apparentes en plafond. — 378. Décoration des voûtes en berceau. — 379. Voûtes en arc de cloître et plafonds avec voussures. — 380. Des coupoles ; caissons divers.

CHAPITRE VIII

ÉLÉMENTS DE DÉCORATION INTÉRIEURE

---

§ 1

DÉCORATION DES MURS

358. Décoration des murs intérieurs ; parement uni en matériaux divers. — La décoration intérieure comporte tous les parements des constructions intérieures des édifices : les murs, les plafonds, les portes, les cages d'escaliers, les cheminées ; tout ce qui se rapporte à la maçonnerie est du ressort de ce chapitre.

Les murs peuvent tirer leur ornementation de la nature même et de l'appareillage des matériaux qui forment leur construction, que ce soit de la pierre de taille, de la brique ou tout autre genre de matière.

La brique vient ajouter à l'appareillage l'aspect de sa teinte vive, joint à l'effet des arrangements réguliers de tonalités variées. On peut encore y ajouter l'harmonie du mélange de faces ordinaires de teinte terre cuite et de faces émaillées en couleurs. Enfin, toutes les briques peuvent être émaillées de diverses nuances.

La faience, qui n'est en somme qu'une matière céramique émaillée, mais qui se trouve dans le commerce en panneaux de plus grandes dimensions que la brique sert aussi à la confection des revêtements de murs.

Les émaux donnent une couleur vive agréable ; ils servent à aviver l'éclairage des endroits sombres, et ils donnent de la

importance au larmier devenu inutile, et on supprime la mouchette.

D'autres fois, on met la corniche dans l'angle même que fait le mur avec le plafond et on lui donne un profil spécial : Par exemple quelques moulures en A, au dessus desquelles se développe une grande *gorge* ou *voussure* concave ; le profil se complète en plafond par d'autres moulures légères B.

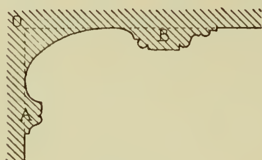


Fig. 660.

Dans cette disposition, représentée fig. 660, la gorge est tangente aux deux alignements OA du mur et OB du plafond.

Ces corniches se taillent dans la pierre qui a pu être réservée à cet effet ; mais, dans la plupart des cas, on les traîne au calibre en plâtre, ce qui est bien plus économique.

360. Décoration des parements par panneaux moulurés. — Le corps du mur peut avoir ses parements décorés d'une manière plus efficace par une division de panneaux obtenus au moyen de moulures saillantes.

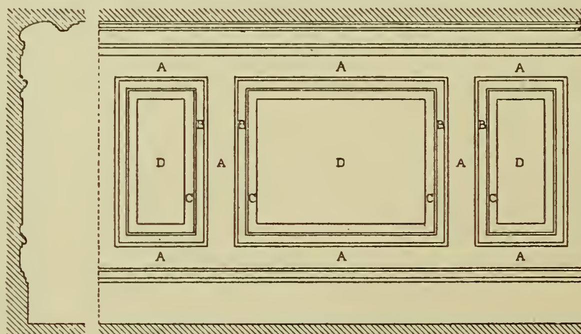


Fig. 661.

Cette décoration imite l'effet que produisent les lambris en menuiserie. Les parties plates A qui séparent les panneaux soit de la corniche, soit du socle, soit entre eux, se nomment les *champs*.

Les parties B sont les *cadres moulurés*.

Les parties plates renfoncées C sont les *plates-bandes*.

Enfin les milieux D sont les *panneaux*.

On étudie les profils en raison de l'effet à produire, et on les choisit de telle sorte qu'il y ait unité d'aspect dans les détails de la corniche, des cadres et du socle.

Les angles des cadres peuvent être à onglet simple comme dans la fig. 661, ils peuvent être ornés de crossettes comme dans la fig. 662, et le carré extérieur déterminé par la crossette est accompagné d'une rosace décorative. Enfin, dans d'autres cas, le cadre est à onglet simple et la plate-bande est seule à crossettes avec petites rosaces.

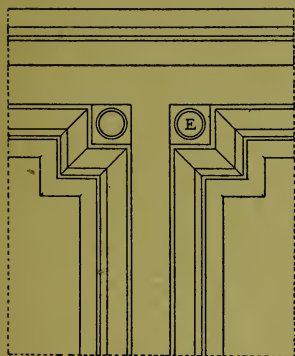


Fig. 662.

On remplace quelquefois les panneaux par des plaques de marbre incrustées; d'autres fois, on fait le tout en stuc imitant les pierres polies ; enfin, dans les bâtiments économiques la construction est en plâtre, avec peintures de revêtement représentant pierres ou marbres.

361. Décoration par pilastres ou colonnes engagées, avec entablement complet. — Le corps du mur peut être surmonté d'une corniche architravée avec moulure d'astragale interposée. Il peut enfin être couronné par un entablement complet avec ses trois parties constitutives, l'architrave, la frise et la corniche.

En employant des supports détachés, colonnes ou pilastres, on arrive à la disposition des ordres d'architecture ; les proportions relatives qu'ils comportent peuvent guider dans les dimensions à adopter.

Le socle devient piédestal, le corps du mur est renforcé de colonnes ou pilastres engagés, supportant à leur tour la saillie de l'entablement.

On peut combiner la décoration par des ordres avec la décoration par panneaux, en employant ces derniers dans les intervalles des pilastres comme il est représenté en *mnop*, par exemple, dans la fig. 663, où le panneau qu'on établirait ainsi est indiqué en traits ponctués.

Les pilastres peuvent être simples ou accouplés, et présen-

ter toutes les dispositions que l'on rencontre dans les façades extérieures.

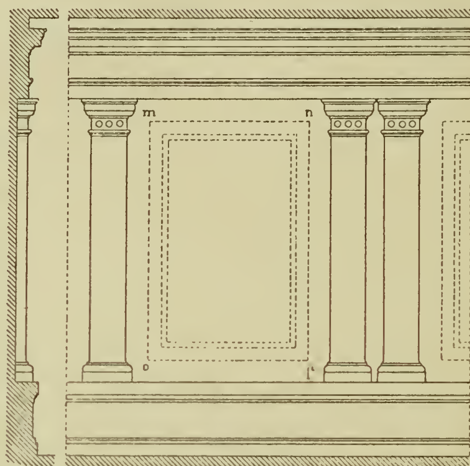


Fig. 663.

362. Décoration avec pilastres et colonnes isolées; avec arcades. — Enfin les pilastres peuvent être doublés de colonnes libres en avant, l'entablement ayant alors une saillie très considérable sur le mur de fond.

On trouve également dans les intérieurs des dispositions d'arcades reposant sur pilastres, ou liées aux ordres d'architecture où elles occupent les intervalles des colonnes.

363. Décoration par panneaux des cages d'escaliers. — Les murs des cages d'escaliers en pierre de taille, en stucs, ou en enduits, sont d'ordinaire traités par panneaux moulurés ainsi que le montre le développement d'un étage de maison d'habitation ordinaire, représenté fig. 664. Les panneaux sont alternativement étroits et larges, leurs longs côtés sont verticaux, les petits côtés sont horizontaux dans les paliers, tandis que le long des rampants ils suivent l'inclinaison du plafond. Les champs sont partout de même largeur.

Une corniche légère accompagne le plafond, tandis qu'un socle saillant, qui porte souvent le nom de stylobate, lorsqu'il a de 0,15 à 0,25 de hauteur, vient terminer le mur à la partie basse, et à recouvrir le joint entre la marche et le mur.



Fig. 664.

On fait la division de telle manière que les champs réservés le long des portes et des fenêtres soient égaux aux autres.

Quelquefois les profils des deux sortes de panneaux ne sont pas les mêmes ; on oppose aux grosses moulures des panneaux les plus grands les moulures plus restreintes que l'on adopte pour les petites divisions.

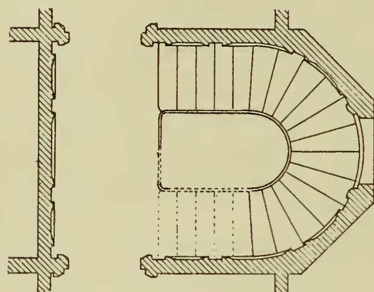


fig. 665.

La fig. 665, donne le plan de la cage dont le développement est représenté dans le croquis précédent ; il permettra de se rendre compte des différentes parties de ce développement.

364. Décoration des cages avec application des ordres. — Lorsque l'on a affaire à des cages d'escaliers construites dans des monuments importants, les murs de ces cages sont étudiés d'après les mêmes principes que les façades extérieures. Une ossature résistante motive l'ornementation ; elle se compose de parties portantes pour le bâtiment et les différentes attaches de l'escalier, et de parties de remplissage.

Les parties portantes peuvent être renforcées par des colonnes ou pilastres, soit engagés, soit libres, liés à des piédestaux et à des entablements. Il en résulte toute la variété de décoration que l'on peut obtenir avec les principes des ordres, superposés ou non.

La fig. 666, représente la coupe verticale d'une cage ainsi ornée, avec combinaison des ordres et des voûtes qui servent de support aux diverses parties de l'escalier.

Les deux premières montées de la révolution intérieure sont portées sur deux murs d'échiffre, la 3e montée s'élance par un arc rampant jusqu'au palier du premier étage, et cet arc vient reporter inférieurement sur un pilastre qui forme tête d'échiffre. Le palier est formé de deux parties d'équerre, l'une transversale, l'autre longeant la façade longitudinale : chacune de ces parties horizontales forme une voûte dont les retombées sont reçues sur des pilastres engagés dans les murs, auxquels

s'adjoignent deux colonnes isolées qui porteront la montée suivante.—Entre les pilastres viennent s'ouvrir les dernières portes d'entrée des locaux à desservir. Dans les intervalles où ne se trouvent pas de portes on a établi des niches devant contenir

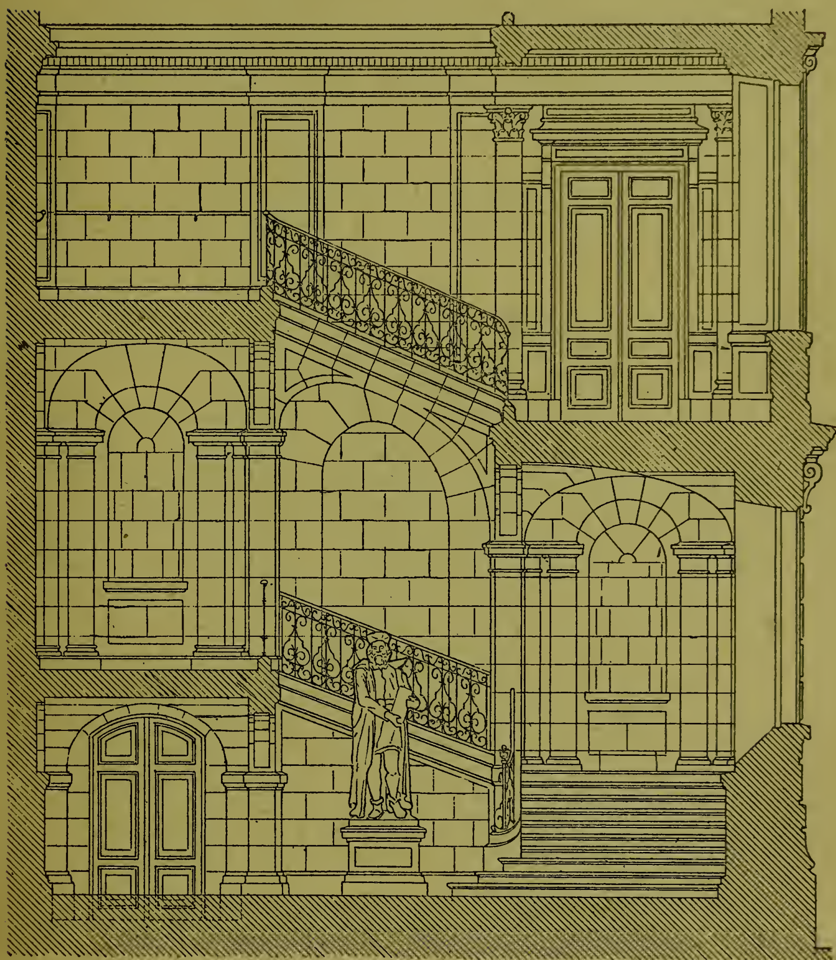


Fig. 666.

des bustes. La révolution supérieure se suspend de la même manière pour aboutir à un second palier disposé comme celui du premier, et auquel est appliqué le même mode de décoration.

Enfin le tout est surmonté à hauteur suffisamment relevée, d'un plafond avec voussure représenté plus loin dans la fig. 700.

§ 2

DÉCORATION DES FENÊTRES ET PORTES

365. Décoration intérieure des fenêtres. — La décoration adoptée pour les fenêtres à l'intérieur des édifices n'est pas souvent exécutée en maçonnerie et la disposition employée varie peu.

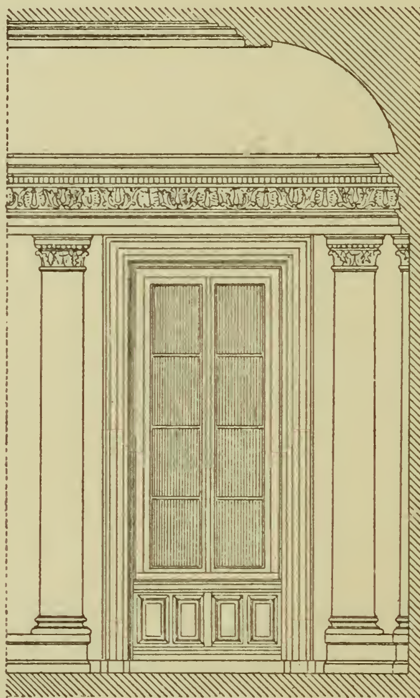


Fig. 667.

Presque toujours on se contente d'un encadrement mouluré que l'on nomme chambranle, qui suit le vide de la fenêtre et dont les côtés verticaux viennent s'amortir sur des socles unis posés sur le sol.

Quant à l'allège au-dessous de la fenêtre, on la divise en un certain nombre de panneaux moulurés. Cette division varie avec les proportions de l'allège, de la croisée et de l'ornementation voisine.

La saillie des chambranles intérieurs des fenêtres est généralement très faible, 3 à 5 centimètres par exemple. On imite les profils des archivoltes. On ne leur donne un excédant de saillie que si l'on en a besoin pour amortir des moulures voisines interrompues par la fenêtre.

La fig. 667 donne la disposition d'une fenêtre avec chambranle d'encadrement placée ainsi entre deux pilastres engagés portant entablement.

366. Décoration des portes, attiques et frontons. — Quant aux portes,leur ornementation est très variée et presque toujours plus importante.



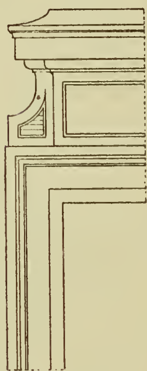
Fig. 668.

Cette importance varie avec celle des pièces auxquelles elles donnent accès et qu'elles ont mission d'indiquer.

Ces portes peuvent présenter l'aspect de portes extérieures, et comporter toutes les dispositions qui ont été indiquées pour ces dernières au chap. V. Presque toujours on trouve un

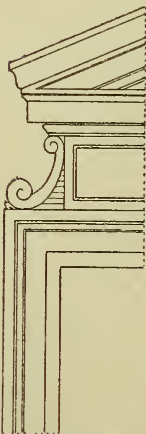
chambranle mouluré, entourant la baie et venant en bas des piédroits s'amortir sur deux socles unis. Son profil rappelle celui des archivoltes : ce chambranle peut constituer à lui seul la décoration de la baie. Si on veut une ornementation plus développée, on l'accompagne d'un entablement complet, sur consoles ou non, et terminé ou non par un fronton. La fig. 668, montre la coupe d'une galerie de la Cour de cassation à Paris, avec indication de deux portes à fronton.

367. Attiques et frontons restreints. — L'inconvénient que présentent à l'intérieur les portes ainsi décorées consiste dans la saillie latérale de l'ornementation qui devient gênante lorsque la place est limitée.


fig. 669.

Dans la fig. 664, la porte placée sur le palier n'a que juste la place de son chambranle, et les saillies plus considérables de sa corniche d'attique ne pourraient se loger. On a recours à un artifice qui est fréquemment adopté. On trace le chambranle autour de la baie puis au-dessus on rétrécit la frise sensiblement à la largeur de l'ouverture, et on la surmonte d'un entablement dont la saillie totale n'excède pas l'extérieur du chambranle.

On accompagne ce ressaut d'une console qui forme raccord et complète l'ensemble. Le croquis de la fig. 669 représente le détail de cet arrangement.


fig. 670

La même disposition peut être prise pour accompagner un fronton, ainsi que le montre le détail ci-joint, fig. 670. La moulure la plus extrême de ce fronton, ne dépasse pas l'alignement extérieur du chambranle, et là où se loge ce chambranle, la porte entière pourra tenir.

La fig. 671 donne l'élévation d'une porte de la Cour de cassation donnant sur l'escalier. Cette porte est ornée d'abord d'un attique posé sur le chambranle et restreint dans sa largeur.

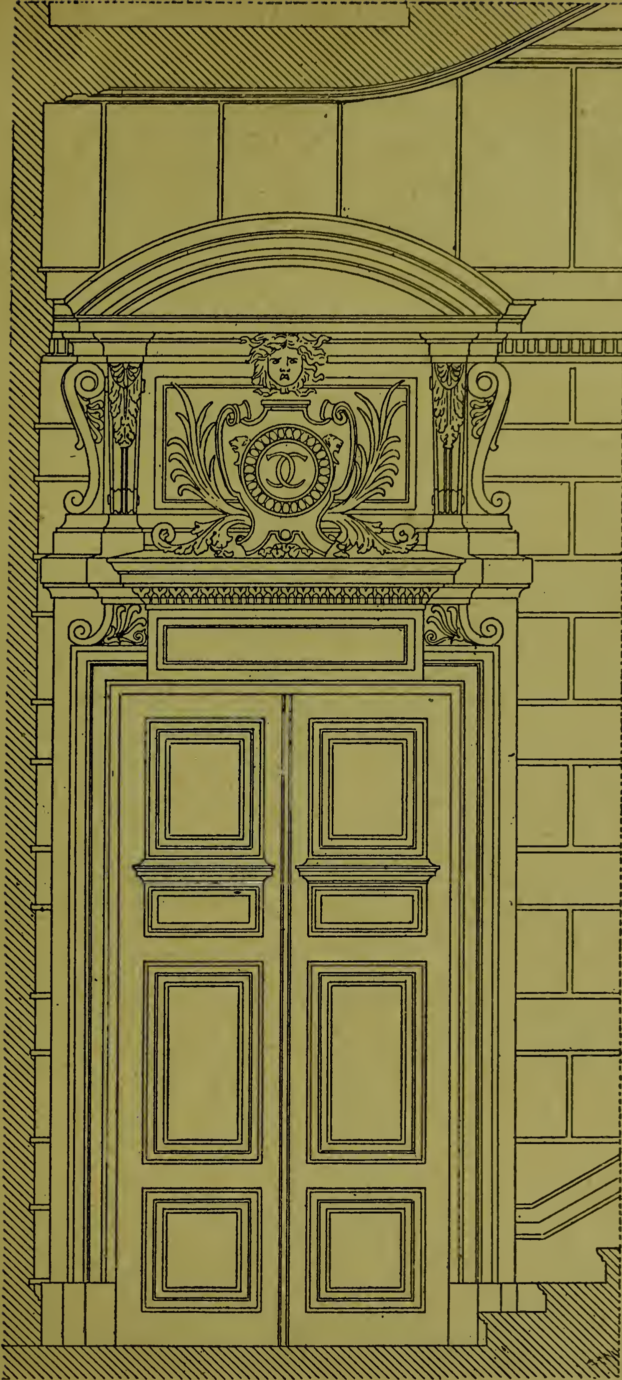


Fig. 671.

Au-dessus, sur deux consoles saillantes, vient se poser un entablement accompagné d'un fronton.

L'intervalle des consoles est occupé par un panneau accompagné de sculptures.

Malgré son grand développement en hauteur, la largeur de cette porte est restreinte à la largeur du chambranle et son aspect n'en est pas moins très satisfaisant.

On remarquera que dans le plan du mur des consoles latérales sont contreprofilées et accompagnent heureusement l'ensemble.

§ 3.

DES CHEMINÉES

368. Des chambranles des cheminées ordinaires du commerce, formes diverses. — Les foyers de chauffage des cheminées sont du ressort de la fumisterie, mais les encadrements en pierre ou en marbre dans lesquels on les construit font partie du gros œuvre, et tout en relevant plus spécialement de la marbrerie peuvent trouver place dans ce chapitre.

Les formes de ces encadrements, que l'on nomme des *chambranles* de cheminées, sont très variées ; mais elles se rapportent à un certain nombre de types, qui sont représentés dans les fig. 672 à 679.

La fig. 672 représente à gauche un chambranle qui porte le nom de chambranle *capucine*, il se compose de deux piédroits ou pilastres avec socle et corniche rudimentaire portant une traverse de champ, et d'une tablette horizontale supérieure. Les côtés sont souvent construits en plâtre dont on peint les parements. Quand on veut mieux faire, on les fait en marbre comme le reste.

La 2e moitié de cette figure représente également une cheminée à capucine, mais sa traverse est double ; les pilastres sont aussi doublés d'une plaque de marbre sur le côté.

Ces marbres ajoutés forment un encadrement de plus autour de l'âtre où sera le feu. On nomme cette cheminée une *capucine à cadre*.



Fig. 672.

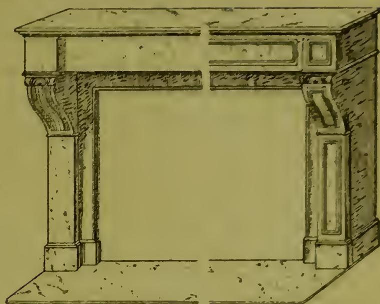


Fig. 673.

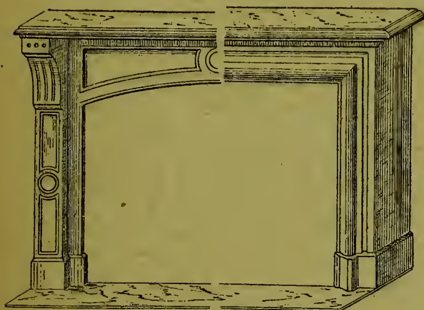


Fig. '674.

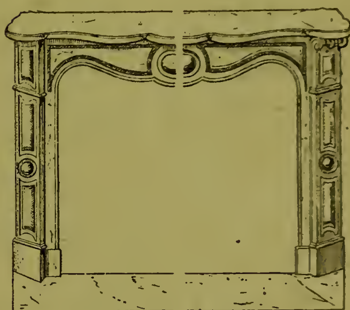


Fig. 675.

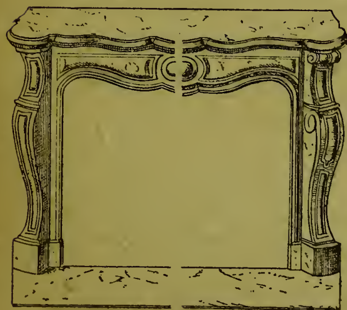


Fig. 676.

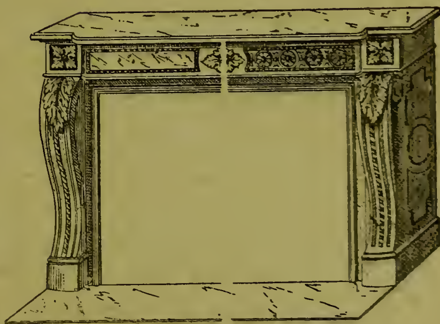


Fig. 677.

Les formes représentées par moitié, fig. 673, sont un peu mieux ornées. Celle de gauche a ses pilastres rentrés, et un modillon vient en porte-à-faux soutenir la partie saillante de la tablette supérieure. Le cadre intérieur autour de l'âtre existe comme dans la cheminée précédente. La moitié de droite de la même figure représente une disposition identique, mais, ornée de panneaux moulurés

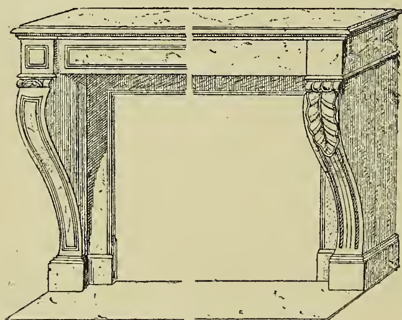


Fig. 678.

Ces dispositions se nomment des *chambranles à modillons*, ou seulement des *modillons*.

On les applique au chauffage des chambres à coucher de nos appartements ordinaires et le choix du marbre entre pour beaucoup dans l'effet qu'elles produieent et dans leur prix

La fig. 674 représente à gauche un chambranle formé par un pilastre surmonté d'un modillon qui porte la saillie de la tablette ; en dedans, un cadre double le pilastre et a sa traverse cintrée. A gauche, la cheminée est simplement formée d'un piédroit et d'une traverse ornés d'une grosse moulure formant encadrement robuste, et le tout est recouvert par la tablette supérieure.

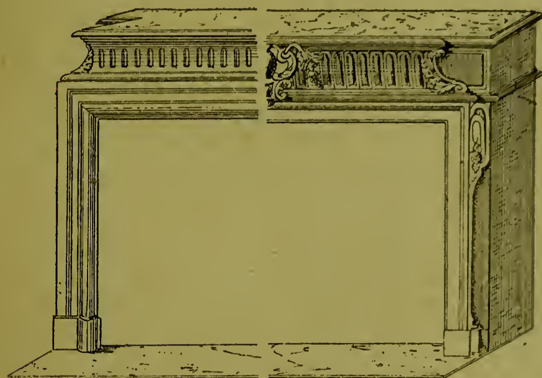
La fig. 675 représente deux exemples de chambranles que l'on nomme Pompadour. Les pilastres sont placés à 45° en plan. Ils sont doublés en façade par un encadrement dont la traverse a une forme sinuée avec médaillon ovale au milieu. La tablette supérieure est également sinuée sur sa rive.

La fig. 676 donne une disposition qui se rapproche beaucoup de la précédente et que l'on nomme de forme Louis XV. Elle n'en diffère qu'en ce que les pilastres plans sont remplacés par des consoles plus ou moins ornées et posées à 45° en plan.

La fig. 677 représente deux exemples du type dit à *consoles*, ne différant des modillons qu'en ce que les piédroits sont formés par des consoles très développées et qui vont jusqu'aux

socles des piédroits. La fig. 678 montre des cheminées à consoles encore plus ornées.

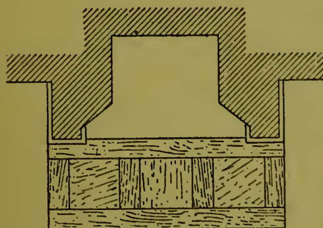
Enfin la fig. 679 représente deux exemples d'un type très décoratif de forme carrée, et dont la façade est formée par un grand cadre mouluré surmonté d'une sorte d'attique rétréci, accompagné de consoles et souvent d'un motif milieu sculpté.


Fig. 679.

Chacun de ces types est complété par une bande de marbre ayant pour longueur la largeur même de la cheminée et pour une largeur environ 0.30 à 0.35 et que l'on nomme *le foyer*. Ce foyer se place au niveau du parquet devant la cheminée et dans un encadrement réservé dont il éloigne le bois de l'âtre.

Il est ordinairement taillé dans une même plaque de marbre, surtout pour les cheminées les plus communes et les plus simples.

D'autres fois, lorsque l'on désire une ornementation plus importante, on compose le foyer d'un nombre quelconque de plaques de marbre de couleurs variées et assorties, et appareillées régulièrement: on forme ainsi un *foyer à compartiments*, fig. 680.


Fig. 680.

Les diverses surfaces de marbre qui composent ainsi les chambranles ou les foyers sont prises, sauf les parties sculptées, dans des plaques de sciage ayant une faible épaisseur par économie de matière.

On donne à ces constructions la résistance nécessaire en

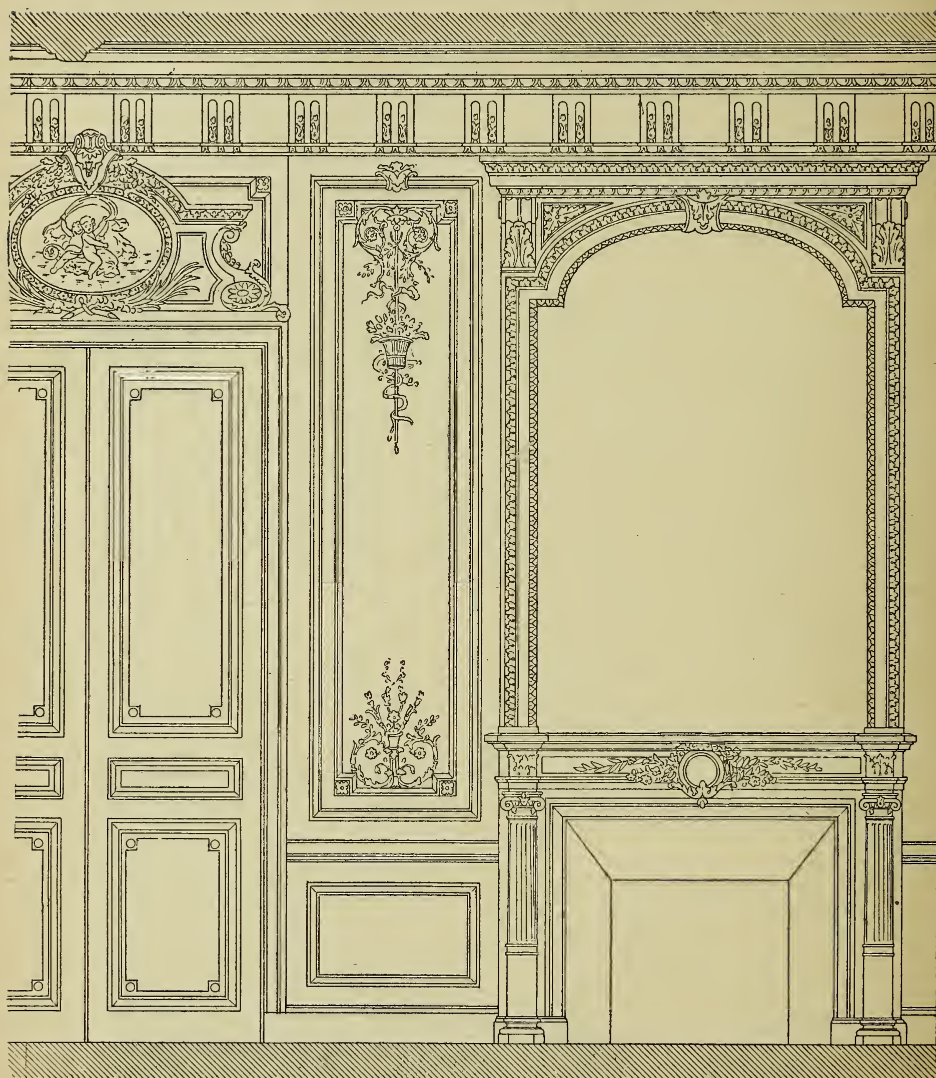


Fig. 681.

doublant les plaques de marbre avec des dalles de pierres tendres et résistantes, et l'assemblage se fait avec du plâtre fin employé dans toute sa force. On assemble les diverses pièces ainsi doublées en les reliant entre elles et au mur par des agrafes en fer et du plâtre, ce qui donne une solidité suffisante.

Pour les constructions ordinaires, on prend des chambranles tout faits du commerce, qui sont taillés en carrière sur les lieux de production du marbre, d'après des modèles pour ainsi dire uniformes.

Pour les constructions de luxe, on trouve des chambranles mieux soignés sortant des ateliers des marbriers de Paris, exécutés sur formes plus étudiées, ou bien on fait tailler sur dessins.

369. Décoration d'une face de mur avec cheminée. — Les cheminées contribuent beaucoup à la décoration des pièces ; on les surmonte de glaces étamées ou de glaces sans tain suivant qu'elles sont surmontées d'une partie de mur soit plein, soit à jour. On cherche à établir d'ensemble la décoration d'une salle de manière qu'il y ait harmonie complète dans les formes et les ornements de toutes les parties.

La fig. 681 représente l'élévation d'un mur comprenant une porte et une cheminée, et donne une idée de la décoration de la pièce à laquelle elles appartiennent.

La cheminée exécutée sur dessins, a sa tablette supérieure et sa traverse ressautées au droit des pilastres. Ceux-ci sont formés d'une demi-colonne genre ionique à demi engagée dans le montant en marbre, et un cadre mouluré en même matière complète la partie intérieure du chambranle. Un médaillon orné de sculptures orne le milieu de la traverse

La pièce est terminée à sa partie haute par une corniche avec moulures ornées surmontant une frise décorée de triglyphes régulièrement espacés. L'architrave se réduit à une asgale de peu de hauteur.

A la partie basse, les murs sont formés d'un soubassement en trois parties. Une cymaise moulurée, un dé avec champs et panneau, et un socle ou plinthe. Les panneaux sont divisés suivant les intervalles à remplir, et sont disposés en long, horizontalement. Le corps même du mur est accompagné de panneaux correspondant à ceux du bas, mais de plus décorés de crossettes, rosaces et sculptures.

Dans la partie au-dessus de la cheminée, le corps du mur est recouvert d'une glace dont l'encadrement, surmonté d'un

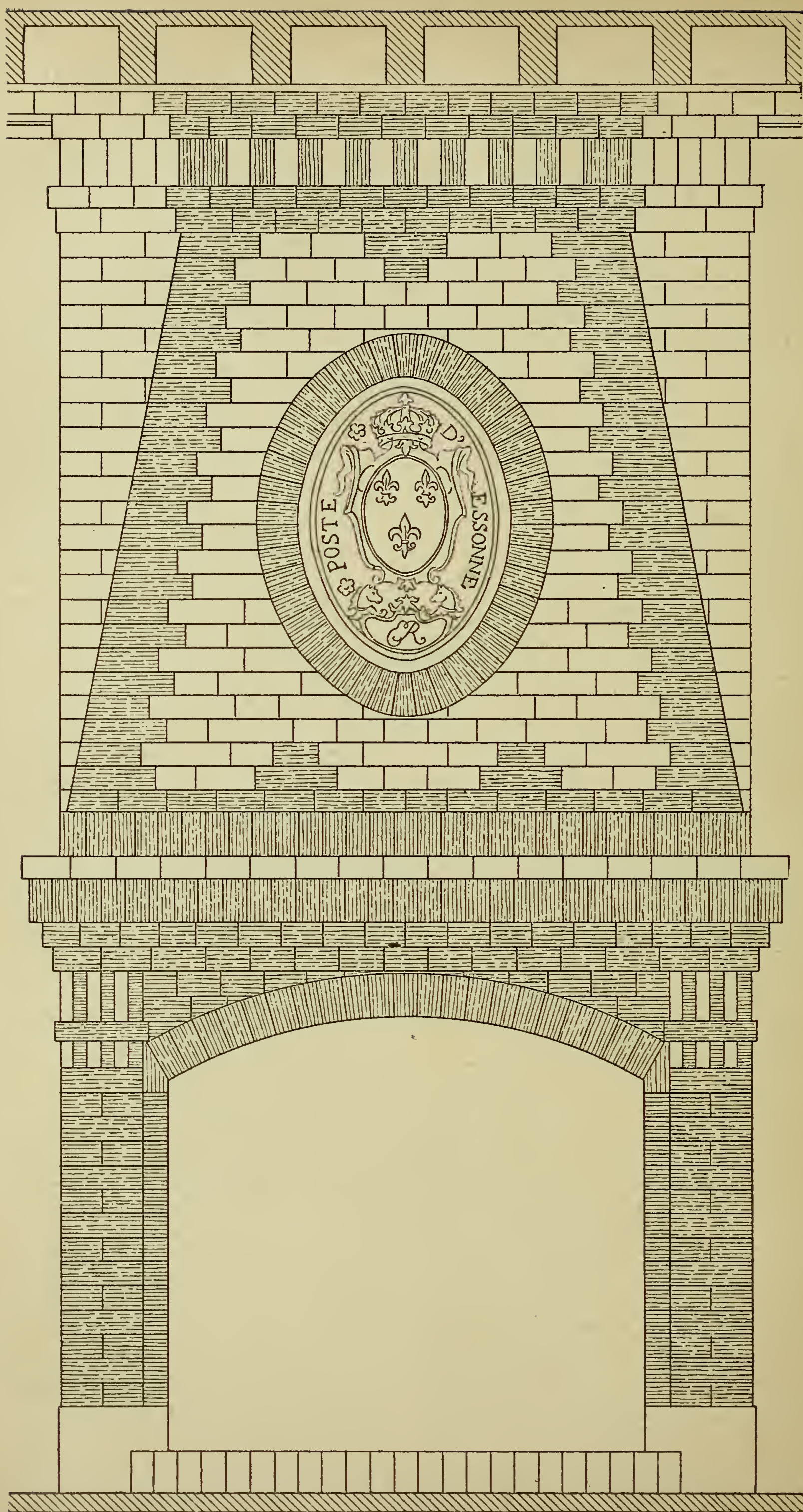


Fig. 682.

entablement avec consoles, vient correspondre, comme hauteur, à la ligne basse de la corniche.

La porte est entourée d'un chambranle mouluré, au-dessus duquel se développe un attique cintré, avec consoles de rétrécissement et médaillon milieu, le tout orné de sculptures. Les tympans sont remplis par une portion de cadre avec crossettes et rosaces.

On remarquera que la division est étudiée pour que l'axe de la cheminée, comme l'axe de la porte, coïncident avec les axes de métapes de la corniche.

Quelquefois on est conduit par l'étude à faire correspondre la hauteur du soubassement du mur à celle de la cheminée.

370. Cheminées monumentales — Lorsque la décoration des pièces le commande, on établit des cheminées monumentales en matériaux de maçonnerie, analogues aux anciennes cheminées de châteaux, et qui comprennent la hauteur totale de la salle qu'elles doivent chauffer.

Ces constructions s'exécutenl en matériaux de tout premier choix, soit en briques pour les plus simples, soit en pierre de taille sculptée pour celles qui comportent une décoration plus accentuée.

La fig. 682 donne un exemple d'une de ces cheminées en briqes où l'arrangement et l'appareil avec colorations variées suffisent pour donner le caractère convenable.

Deux pilastres verticaux en briques, posés sur socle en pierre, sont terminés par des consoles qui portent un entablement soit en briques soit en pierre moulurée. Un cadre intérieur rétrécit l'ouverture et entoure l'âtre ; la traverse de ce cadre est formée d'une voûte en brique surbaissée avec tympans en briques, en terre cuite ou en pierre.

Au-dessus de la corniche une sorte de hotte, en forme de trémie rapproche la fumée et l'engage dans le tuyau supérieur. La hotte est décorée d'une corniche légère et d'une astragale et ces moulures se contreprofilent dans une saillie en briques qui forme fond, continue à la partie haute la largeur du bas de la cheminée, et facilite le raccord d'ornementation avec le restant de la pièce.

L'âtre est carrelé soit au niveau de la pièce, soit à un niveau surélevé de 10 à 15 centimètres, et le fond est formé soit d'un mur en briques réfractaires, soit d'une plaque en fonte ornée. Les côtés de l'âtre sont formés de murs également en briques réfractaires.

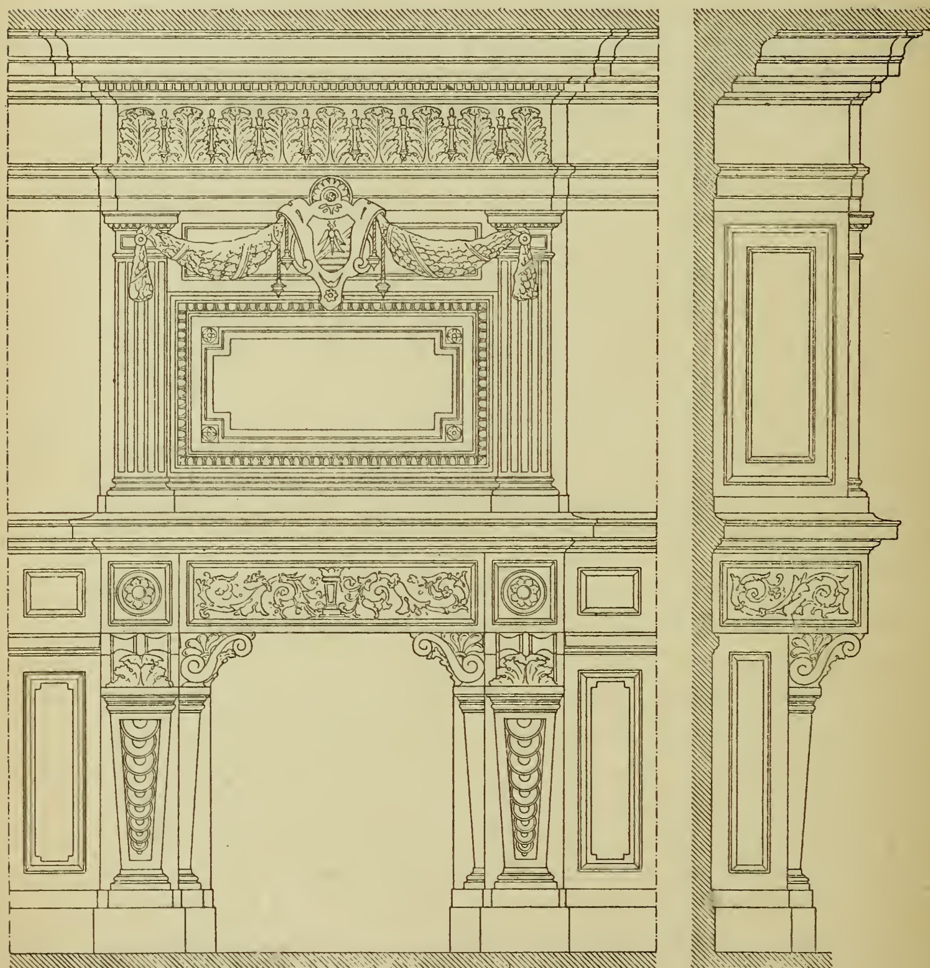


Fig. 683.

Les briques qui servent à construire ces sortes d'ouvrages doivent avoir leur arêtes bien vives et être faites avec des terres de tout premier choix.

Les assises doivent être réglées de hauteur et de largeur et les joints avoir une dimension bien régulière de 0,007 à 0,008 au plus. Enfin, lorsque l'aspect peut le comporter, les variations de couleur peuvent être formées soit par des tons naturels de briques de composition de terres différentes, soit par des faces émaillées en blanc et en couleur, et mélangées avec les précédentes.

Comme second exemple de cheminée monumentale, nous donnons fig. 683, une cheminée en pierre de taille sculptée de forme un peu différente. Au-dessus du chambranle, qui est composé de deux piédroits avec retours, et d'une traverse ornée d'une véritable corniche, vient un coffre rectangulaire décoré de deux pilastres portant un entablement supérieur. Entre les deux pilastres, un panneau entouré de cadres moulurés est surmonté d'un cartouche avec guirlandes sculptées.

L'entablement règne avec celui qui contourne la pièce, et toutes ses moulures se contreprofilent autour de la saillie. La frise est ornée de palmettes.

L'élévation latérale montre la forme et l'avancement de la traverse avec les consoles qui viennent la soutenir. Ces consoles terminent des pilastres en forme de gaînes découpés sur la face des piédroits. Les parties unies latérales sont également ornées, mais d'une façon plus sobre : de simples cadres, moulurés, sauf les retours des traverses du chambranle, qui accompagnent les faces latérales des consoles et portent les mêmes sculptures que la façade. Quant à l'arrangement intérieur de ces cheminées de toutes formes qui viennent d'être passées en revue, il sort du cadre de cet ouvrage et est du ressort de la fumisterie.

§ 4.

DÉCORATION DES PLAFONDS ET VOUTES

371. Décoration des plafonds. Corniche simple. — La décoration la plus usitée pour les plafonds consiste à les

entourer d'une corniche plus ou moins compliquée de saillies et moulures et qui leur forme un encadrement. Les corniches forment ainsi la liaison entre les surfaces horizontales et verticales des pièces ; suivant l'aspect que l'on veut produire, on les harmonise plus directement soit avec les murs soit avec le plafond.

Le profil consiste presque toujours en une grande moulure concave appelée la *gorge* ou la *voussure* de la corniche, et placée entre deux séries de moulures plus petites qui sont les deux cymaises.



Fig. 684.

Ces moulures sont traînées en plâtre, et ce genre de profil évite les grosses masses de plâtre qui sont plus dispendieuses et moins solides, fig. 684.

La saillie *a b* de la moulure du bas doit tenir compte des bâtis de tenture s'il y en a dans la pièce.

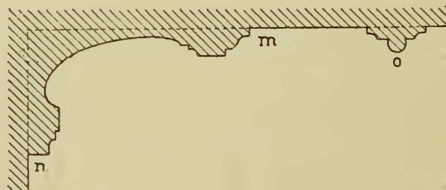


Fig. 685.

D'ordinaire on a plus de place au plafond que sur les murs verticaux, aussi est-ce horizontalement que la corniche se développe davantage, ce qui tend à donner à la pièce l'aspect d'une plus grande hauteur.

Dans les constructions très économiques, on réduit la dimension de la partie *m n* traînée en plâtre, fig. 685, et on rap-

porte en *o* une petite baguette en bois figurant avant-corps, de telle sorte que la corniche compte toujours de *n* en *o* comme développement décoratif, la peinture ultérieure ramenant le tout dans le même ton.

372. Plafond avec avant-corps et caisson-milieu. — Presque toujours le milieu d'une pièce est garni d'un piton saillant destiné à porter un appareil d'éclairage, et on profite de ce piton pour l'accompagner d'un ornement qu'il motive.

Lorsque la corniche est composée seulement de moulures unies, on forme au centre de la pièce une sorte de caisson au moyen de quelques moulures à caractère s'harmonisant avec celui de la corniche, fig. 686.

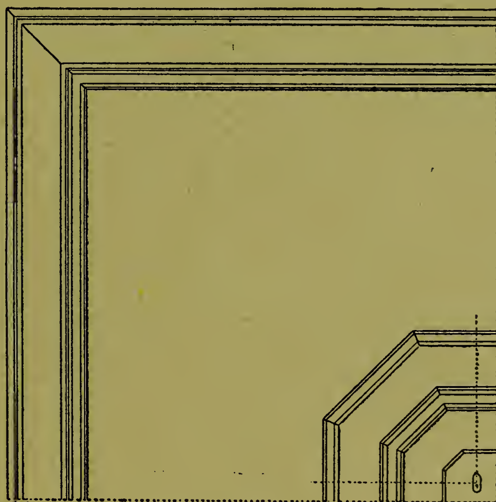


Fig. 686.

373. Plafonds avec avant-corps et rosaces en carton pâte. — On remplace ce caisson par une rosace en carton pâte imitant la sculpture, lorsque dans la corniche moulurée on a une ornementation du même genre soit répartie sur quelques-unes des moulures, soit appliquée à la décoration des angles, soit formant avant-corps au droit de la série des lignes de la corniche.

La fig. 687 représente un plafond ainsi orné.

Les rosaces en pâtes sont construites, soit sur plan circulaire, soit sur plan ovale. Elles sont moulées en blanc de Meudon délayé avec de la colle, et mélangé de matières filamenteuses ; pour obtenir une plus grande rigidité, on établit dans le moulage une ossature en fil de fer galvanisé. On les cloue au plafond ou sur les moulures pendant qu'elles sont encore un peu humides, et elles achèvent de sécher sur place. Cette dessiccation amène un retrait, auquel on remédie par une dernière retouche que l'on nomme le ragréement ou rebouchage et qui consiste à remplir les vides avec de la même matière encore pâteuse.

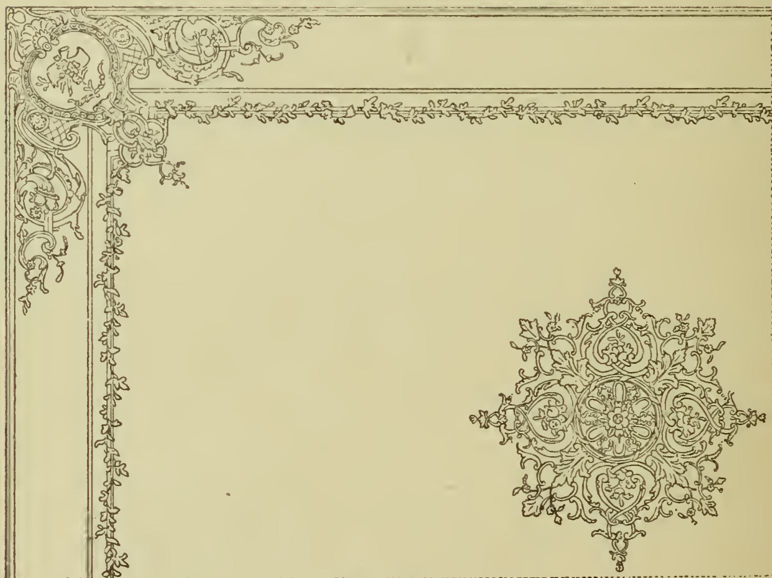


Fig. 687.

On emploie plus spécialement les rosaces ovales pour les pièces allongées en plan.

Les plafonds peuvent avoir leurs corniches moulurées ornées de pâtes, sans accompagnement de rosaces.

Ainsi, la fig. 688 montre le quart d'une pièce ornée, dont le plafond est décoré d'une corniche sans rosace au milieu ; cette corniche comporte des ornements en pâte dans les angles ; ils

sont ordinairement formés d'un cartouche avec quelques rin-

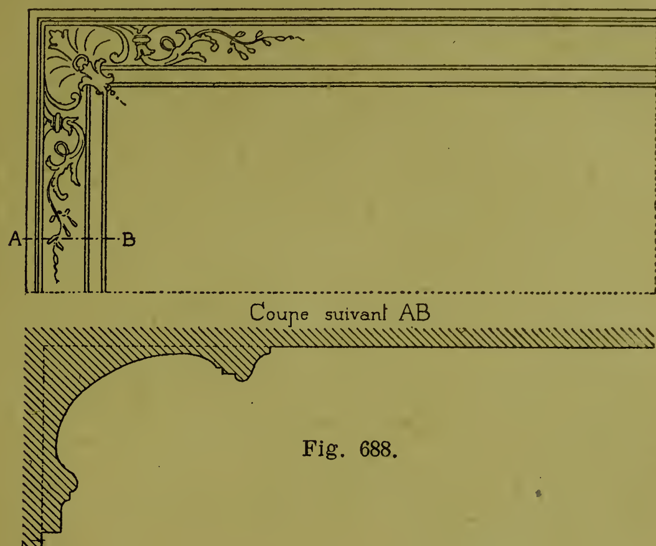


Fig. 688.

ceaux ou amortissement de feuillage.

La fig. 689 montre le quart d'un second plafond dont les

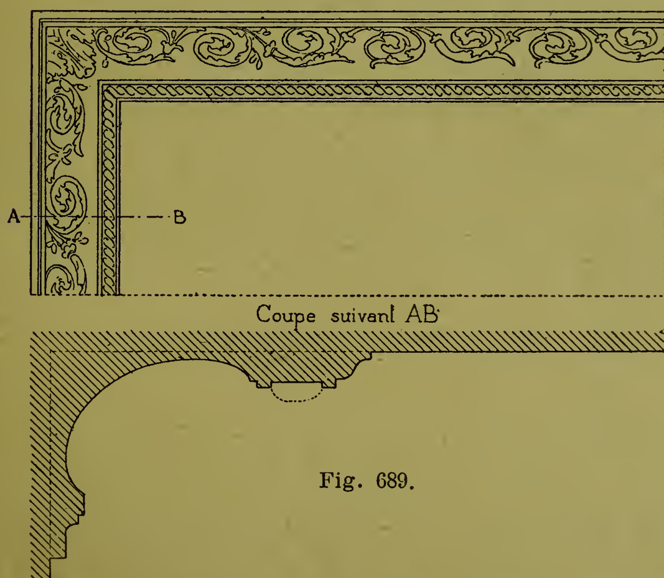


Fig. 689.

moulures de corniche comportent des *ornements courants*,

c'est-à-dire se répétant dans tout le développement de ces moulures. Ils peuvent affecter non seulement la gorge ou voussure, mais encore les principales moulures des cymaises.

Les principaux ornements que l'on ajoute ainsi aux moulures des corniches rappellent ceux qui étaient sculptés sur les moulures des monuments de l'antiquité. Ce sont des canaux, des oves, des gaudrons qui s'en rapprochent, des entrelacs, des portes, des perles, des feuillages, guirlandes, fruits, médaillons, ornements de frises et attributs divers. Il faut les déterminer avant de tracer le plafond, de manière à donner au plâtre le profil nécessaire pour les recevoir.

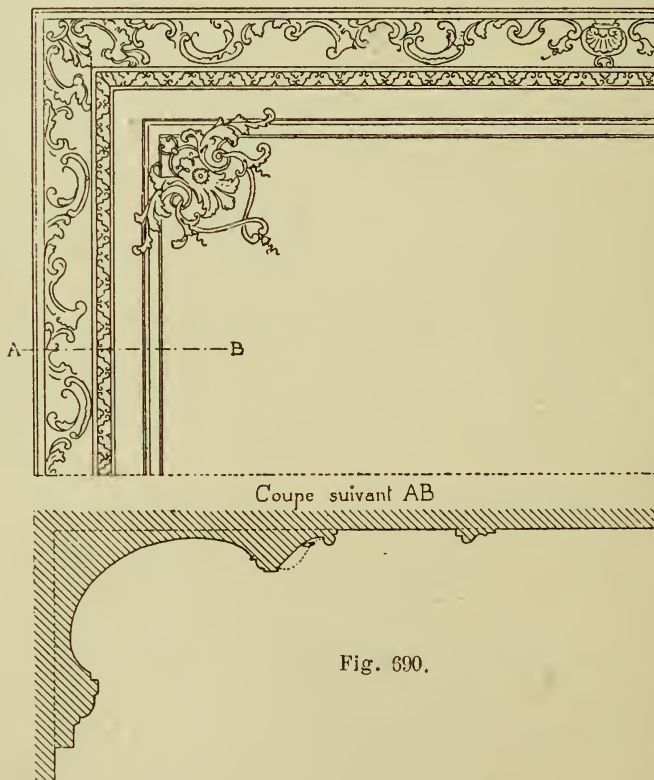


Fig. 690.

374. Plafonds de formes variées avec moulures décorées en carton-pâte. — Si les locaux sont des pièces de réception d'appartements importants, l'ornementation s'accen-

tue. On peut augmenter la largeur du cadre, formé autour du plafond par la corniche, en ajoutant au profil un avant-corps détaché avec angles ornés, disposition figurée sous le numéro 690.

Dans la gorge de l'exemple cité on a rapporté une ornementation de frise, et la doucine de la cymaise supérieure est décorée de feuillages.

L'avant-corps est lisse dans son pourtour et les angles sont formés d'un amortissement en pâtes.

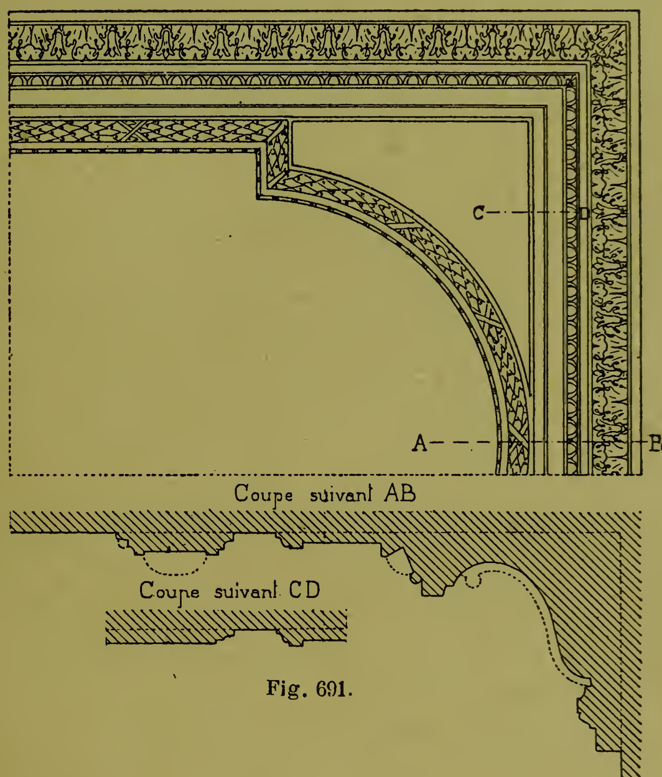


Fig. 691.

La fig. 691 montre une disposition différente. Sa gorge a la forme d'une doucine et est garnie de canaux ou de feuilles ; elle est comprise entre deux cymaises : la cymaise supérieure a comme moulure principale un quart de rond portant des oves et l'avant-corps comporte une grosse moulure ronde ornée de feuillage. Cet avant-corps suit la corniche le long des longs

côtés de la pièce, puis s'en détache brusquement en crossettes pour former demi-cercle à chaque bout.

Il reste anx angles de l'avant-corps des tympans que l'on détache par une légère saillie sur le nu du plafond pour maintenir la régularité du champ tout autour de là corniche.

Lorsque les plafonds ont cette importance de décoration, on abandonne l'idée d'ornementation milieu; le piton de suspension se perd dans le fond de la partie unie, qui est mise en valeur par la peinture.

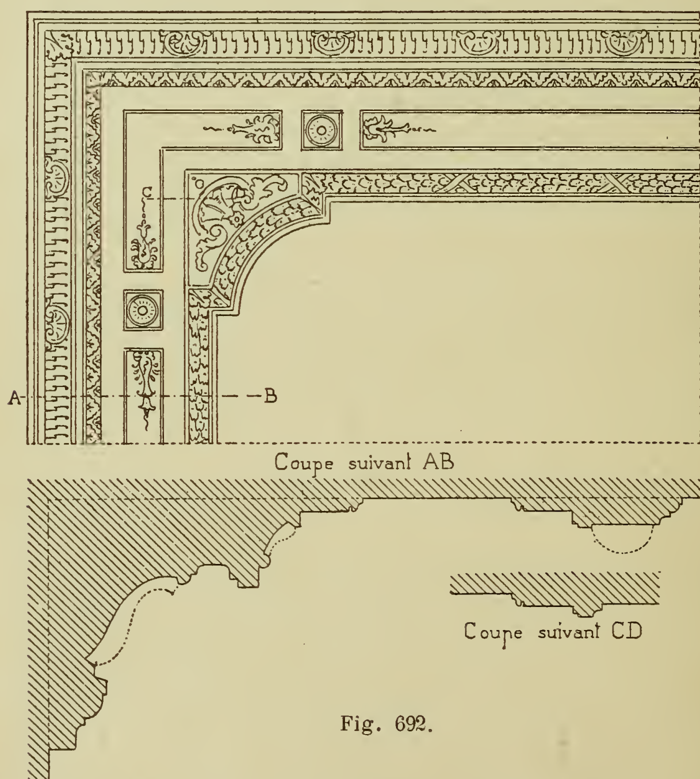


Fig. 692.

La fig. 692 représente un plafond dont la gorge est en forme de doucine avec canaux rapportés, et dont la cymaise supérieure comporte un talon orné de feuillage. Un large champ, avec parties en creux figurant panneaux renfoncés la sépare de l'avant-corps. Ce dernier est formé comme celui de

l'exemple précédent, mais il ressaute aux angles en forme de crossette circulaire au lieu d'être tracé en demi-cercle. Les tympans sont très petits, forment une légère saillie sur le champ voisin et sont recouverts d'un léger ornement. La coupe montre les saillies de ces diverses parties.

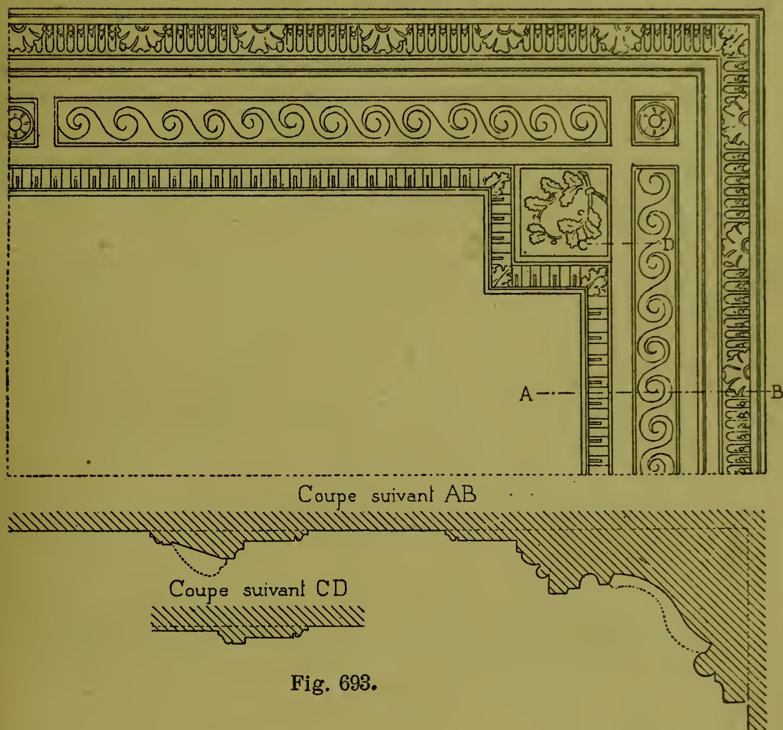


Fig. 693.

La fig. 693 donne une même disposition de corniche avec variation dans la forme de la crossette qui est carrée, le tympan est alors orné, soit d'une rosace, soit d'un autre motif ; ici c'est une couronne de chêne.

Voici fig. 694, un plafond dont l'ornementation est encore plus importante. Une grande gorge est ménagée entre deux cymaises, celle du haut ornée de feuillages. Cette gorge porte un ornement courant de frise avec motifs de raccord dans les angles. Un avant-corps à crossettes, formé d'un quart de rond à feuillages, laisse un intervalle décoré d'un panneau creux

susceptible de division ; ses milieux et les angles portent des motifs en pâte largement découpés.

Le profil de cette corniche indique les saillies et montre les réserves faites pour la pose des cartons pâtes.

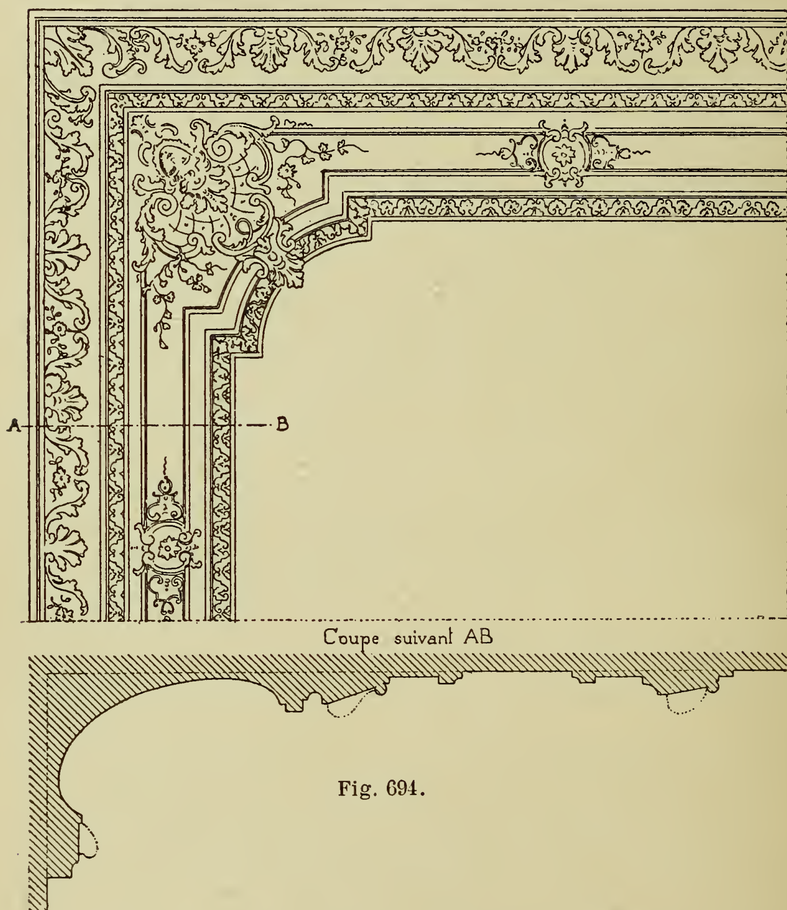


Fig. 694.

Les fig. 695 et 696 donnent encore des exemples de plafonds très ornés pour pièces de grande réception, et les profils que présentent leurs corniches et avant-corps. Le premier de ces présente contient une large voussure dont la surface est couverte d'un ornement courant de frise ; elle est comprise entre deux cymaises également ornées. L'avant-corps est à

crossettes arrondiès, et formé d'une moulure à feuillages ; des panneaux creux, portant quelques légères pâtes, décorent le champ de l'intervalle, et des médaillons, entourés d'un cadre ovale mouluré, sont ornés de têtes en relief vues de profil.

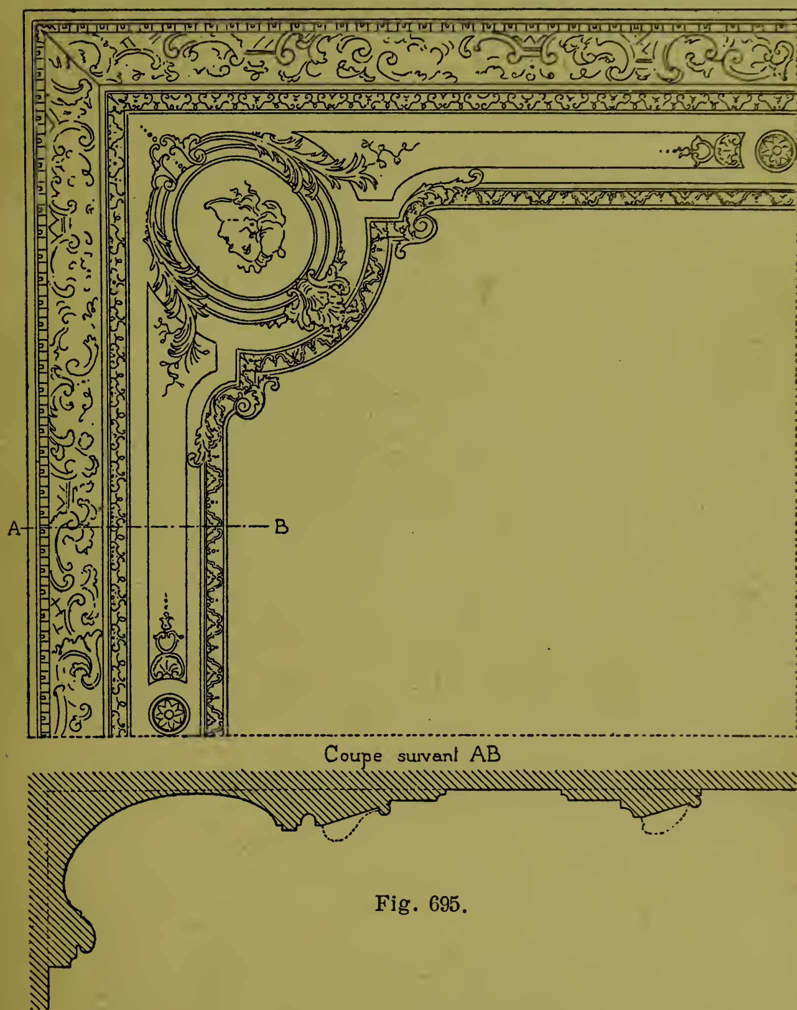


Fig. 695.

L'autre plafond, fig. 696, a une voussure en forme de doucine agrémentée de canaux. La cymaise supérieure comporte un gros tore de laurier avec nœuds espacés. Un autre tore forme l'avant-corps et, entre les deux, on trouve des tym-

pans décorés de cadres et d'attributs, et de rosaces dans les axes des petits côtés.

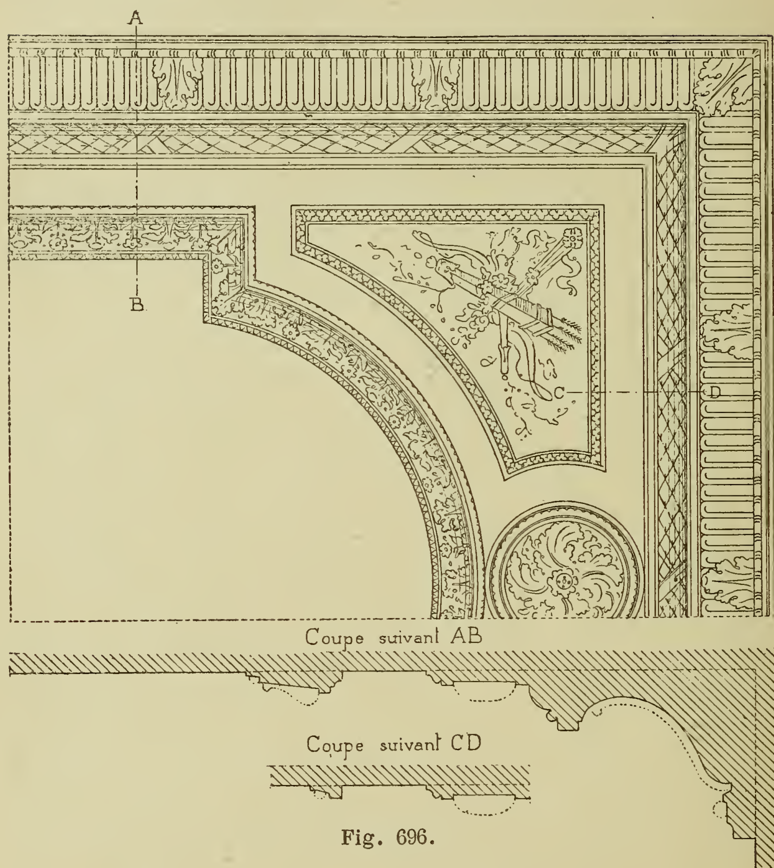


Fig. 696.

375. Plafonds avec ovales et tympans. — Dans bien des cas, les pièces importantes ont l'avant-corps de leur corniche tracé soit suivant un cercle complet, soit suivant une ellipse, soit enfin, mais moins bien, suivant une anse de panier.

Le profil est composé d'après les principes de celui des avant-corps des plafonds précédents, et il comporte les mêmes modes d'ornementation.

Les espaces compris entre l'avant-corps ainsi disposé et les angles de la pièce forment des tympans triangulaires que l'on

détache en panneaux, en creux ou en saillie, encadrés de moulures plus ou moins ornées ; les panneaux eux-mêmes peuvent recevoir des attributs divers, moulés exactement comme il a été indiqué pour les tympans des figures du n° 374.

376. Plafonds divisés en caissons. — Un autre mode d'ornementation des plafonds, tiré des édifices anciens, consiste à les diviser en compartiments correspondant à leur mode de construction. On accuse par des soffites saillants les parties portantes, soit pierres en saillie, soit dessous de voûtes en platebandes, et les intervalles formant caissons allongés en creux sont ornés de cadres moulurés.

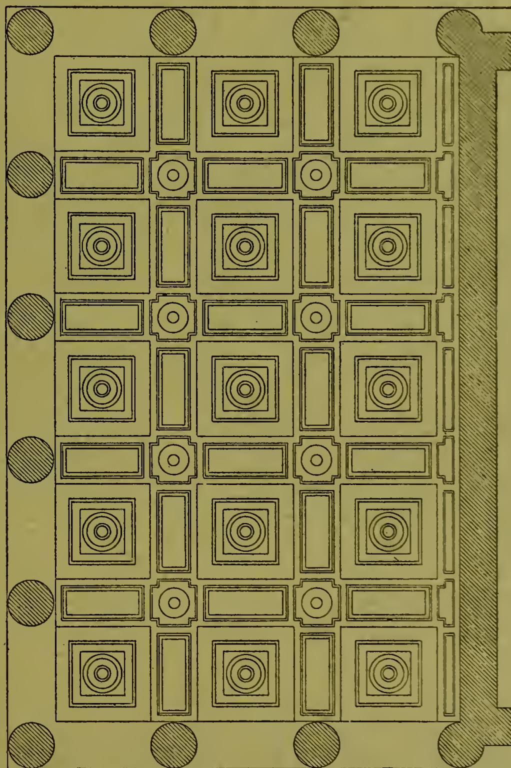


Fig. 697.

D'autres fois on relie les saillies ci-dessus formant soffites

par d'autres saillies transversales, divisant les compartiments allongés en un certain nombre de compartiments carrés formant autant de caissons en creux. Chacun d'eux a une ornementation formée de cadres moulurés avec rosace ou autre motif au milieu.

Les soffites eux-mêmes sont ornés de cadres légèrement creusés sur leur plafond, lorsqu'il y a lieu d'élégir leur aspect; leurs croisements comportent souvent des rosaces.

La fig. 697 donne en plan et vue de dessous la disposition d'un plafond de ce genre, celui du porche de la maison carrée de Nîmes.

Les soffites correspondent aux colonnes qui de trois côtés servent de points d'appui à ce plafond.

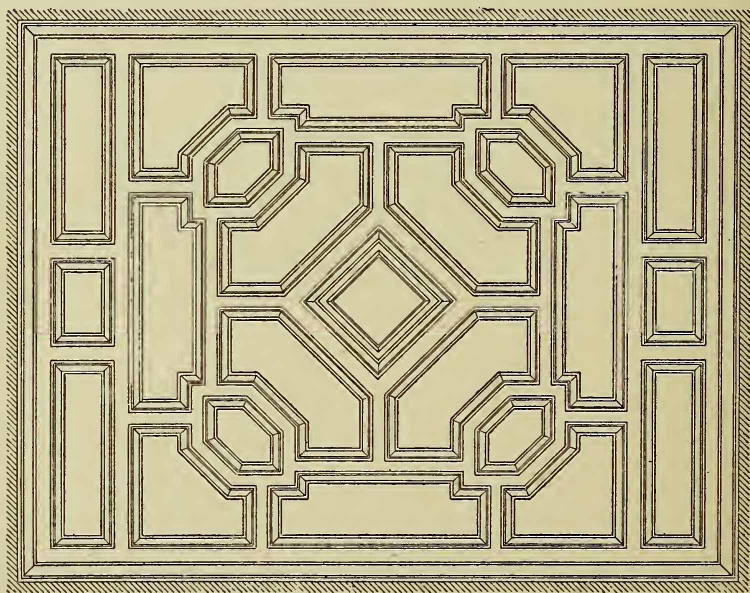


Fig. 698.

Les compartiments n'ont pas toujours cette simplicité de dessin. Dans la fig. 698, on a figuré un plafond à compartiments plus fantaisistes.

Les soffites minces sont traînés en plâtre avec les moulures

qui les accompagnent ; les panneaux en creux sont décorés d'attributs divers.

D'autres fois les sculptures ou leurs imitations en carton pâte sont remplacées par des peintures décoratives, dont les tons divers sont harmonisés de manière à produire l'effet cherché.

377. Imitation en staff des solives et poutres apparentes en plafond. — Un autre genre de décoration d'un plafond consiste à imiter la forme des poutres et solives en bois ainsi que la disposition que l'on a l'habitude de leur donner ; on y ajoute l'ornementation que cette disposition comporte.

On emploie pour ces fausses charpentes une matière que l'on nomme du staff, et qui n'est autre qu'un mélange d'étoupes et de plâtre gâché soit à l'eau, soit avec une dissolution de colle. On moule ces pièces sur des mandrins de forme convenable et, avant siccité complète, on les démoule et on les entretoise par des traverses qui maintiennent la position et la rectitude de leurs faces. Ce moulage permet de faire tenir sur leurs faces les ornements qu'elles doivent porter. Une fois sèches, on les met en place et elles ont une grande solidité et rigidité. Les entrevoux formant caissons sont ou formés par le plafond primitif, ou exécutés eux-mêmes en staff et rapportés dans leurs intervalles.

On achève par la peinture l'illusion de la charpente.

378. Décoration des voûtes en berceau. — Le principe de la décoration des voûtes en berceau consiste à les construire en matériaux mixtes et à accuser des parties fortes portantes et des parties de remplissage plus faibles.

Cette ossature donnera un motif convenable de décoration.

Un premier moyen de renforcer certaines parties de voûtes consiste à employer des arcs doubleaux saillants partout où cet accroissement de résistance est rationnel. Ces arcs doubleaux correspondent à des pilastres renforçant les piédroits et sur lesquels vient porter la charge.

Les parties de voûtes entre les piédroits peuvent être décorées par l'appareil lui-même nettement dessiné par des joints en creux ou en mortier coloré ; d'autres fois, elles seront découpées en panneaux encadrés de moulures, ces panneaux s'étendant d'un doubleau à l'autre et d'un piédroit à son vis-à-vis.

Enfin, cette même décoration par panneaux peut s'employer sans qu'il y ait d'arcs doubleaux.

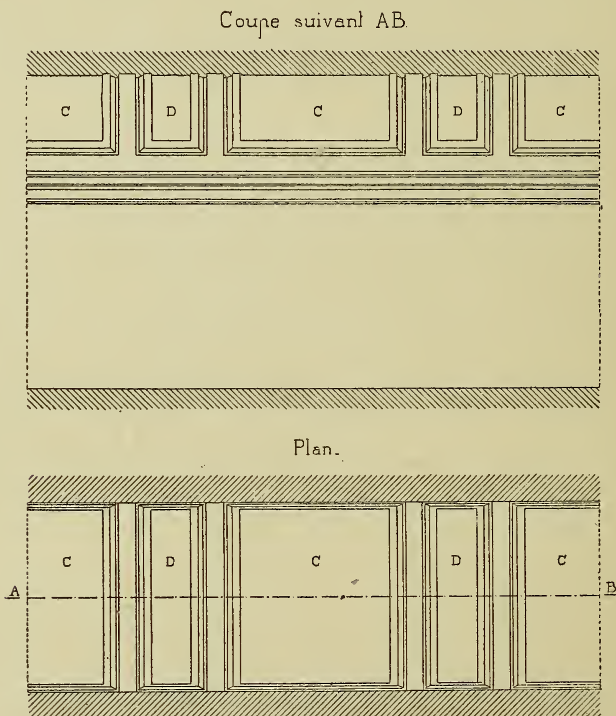


Fig. 699.

La fig. 699 donne la disposition d'une voûte en berceau décorée de panneaux successifs de toute la largeur de la voûte; ils sont alternativement grands et petits. La voûte est représentée en coupe longitudinale et en plan.

Il ne faut pas oublier que les panneaux représentent les parties faibles, les remplissages de la voûte, et s'il survient

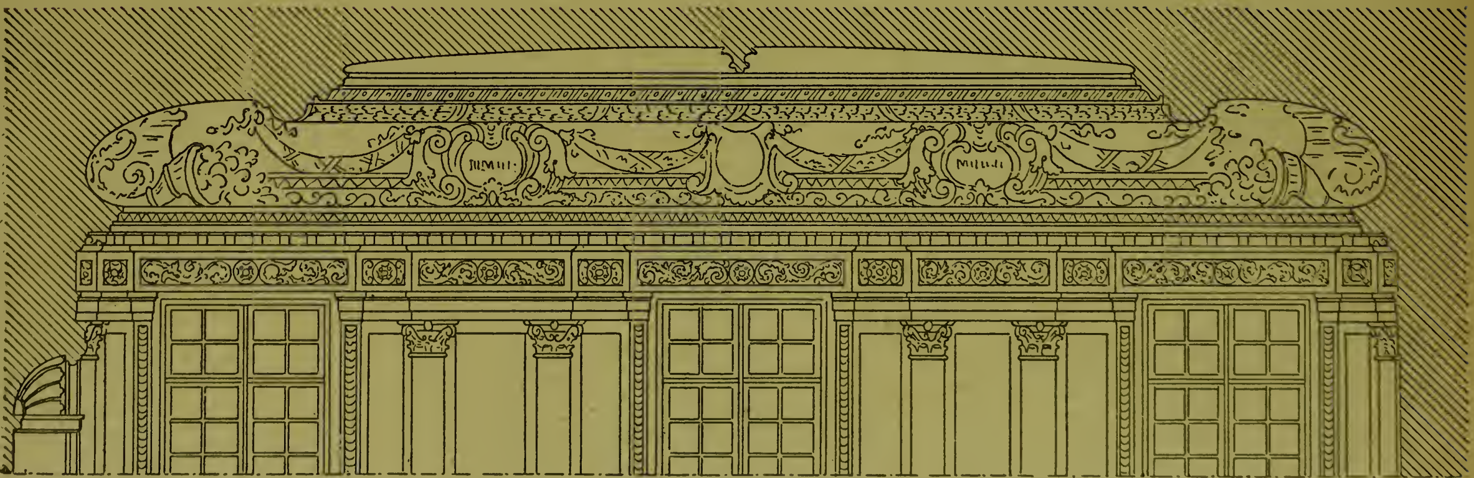


Fig. 700.

quelqu'interruption dans les piédroits par suite de baie ou de pénétration, elle doit correspondre à un panneau et non à un champ.

Les champs, au contraire, lorsqu'il n'y a pas de doubleaux, sont les parties solides et doivent nécessairement corrrespondre aux points d'appui réels et accusés. C'est d'après ce principe que seront tracées les divisions.

D'autres fois, on augmente le nombre des compartiments par des divisions secondaires dans le sens des génératrices de la voûte, comme dans le sens perpendiculaire, et on arrive aux caissons analogues à ceux de la voûte plate de la maison carrée de Nîmes, fig. 697.

Lorsque les piédroits sont eux-mêmes décorés de panneaux, ces derniers doivent correspondre à ceux de la voûte et la division s'axer bien exactement au-dessus et au-dessous de la moulure d'imposte.

379. Des voûtes en arc de cloître et plafonds avec voussures. — Les voûtes en arc de cloître peuvent se décorer de même façon au moyen de compartiments, mais dans les angles ils sont nécessairement irréguliers ; il y en aura en forme de trapèze et de triangle, et la division doit être attentivement étudiée pour obtenir des compositions acceptables.

D'autres fois, et cela a lieu surtout dans les plafonds avec voussure, on les traite comme les corniches à gorges des plafonds plats, en les accompagnant de lignes de moulures ornées et en décorant leurs surfaces courbes d'ornements de frises, avec motifs d'angles, comme le montre la fig. 700.

380. Coupoles. Caissons divers. — Les voûtes sphériques se prêtent à une ornementation naturelle et rationnelle. Leurs méridiens convergeant vers le sommet peuvent être accusés et réunis supérieurement par un ornement milieu très décoratif. Leurs intervalles forment, soit des panneaux allongés, soit des caissons de plus en plus grands, s'ils sont coupés transversalement par des nervures dirigées suivant les parallèles de la sphère.

Les nervures principales, dans cette combinaison, viennent retomber sur les points d'appui nettement accusés que présente le tambour, et ce dernier les répartit sur les assises circulaires qui surmontent les pendentifs.

Les décorations de ce genre excèdent le cadre de cet ouvrage; elles sont représentées sommairement dans les fig. 559 et 560, qui donnent la coupe de Sainte-Sophie de Constantinople et celle du Panthéon à Paris.

CHAPITRE IX

REVÊTEMENTS DES SOLS

§ 1. *Revêtements du sol à l'extérieur des édifices.*
§ 2. *Revêtements des sols à l'intérieur des bâtiments.*

SOMMAIRE :

CHAPITRE IX

REVÊTEMENTS DES SOLS

§ I.

REVÊTEMENTS DU SOL A L'EXTÉRIEUR DES ÉDIFICES

381. Considérations générales sur les sols. — Lorsque le gros œuvre d'un bâtiment ou d'un édifice est achevé, il reste à terminer les différentes surfaces que doivent présenter soit les abords, soit les différents planchers de l'intérieur. Ces surfaces ont des destinations variées, à chacune desquelles correspondent certains matériaux dont il y a à étudier les propriétés, les aptitudes à réaliser le programme, et le prix.

Les surfaces extérieures ne rempliront pas les mêmes conditions que les surfaces intérieures ; et, parmi ces surfaces extérieures, les unes auront à résister au roulage de grosses voitures, les autres au maniement de lourdes marchandises, d'autres enfin n'auront d'autre but que de former refuge pour les piétons, au milieu du mouvement qui se fait sur les précédentes.

Les surfaces intérieures aussi auront à satisfaire à des programmes divers : les unes ne demanderont qu'un dressage et un fini relatif, mais devront présenter une solidité convenable soit pour des magasins, soit pour des ateliers. Les surfaces, au contraire, qui devront former l'aire de nos habitations,

n'auront pas besoin de la même résistance, mais demanderont une plus grande rectitude et une paroi plus mince. Enfin celles qui correspondront aux pièces de luxe exigeront des matériaux de choix et une perfection d'emploi en rapport avec la richesse de la décoration.

382. Solidité des divers matériaux. — D'ordinaire l'expérience suffit pour apprécier la solidité que peuvent présenter les divers matériaux comme revêtements de surfaces horizontales ; on évalue au moins leur résistance relative. Mais on est tenté de l'assimiler à la résistance à la traction ou à la compression que l'on a vues dans le chap. I de cet ouvrage et il peut y avoir des mécomptes ; aussi était-il très utile de faire des expériences directes sur la plus ou moins grande difficulté que les diverses matières présentent à l'usure par frottement.

383. Résistance à l'user. Expériences de M. Muller. — M. Emile Muller a fait de 1869 à 1872, dans son usine

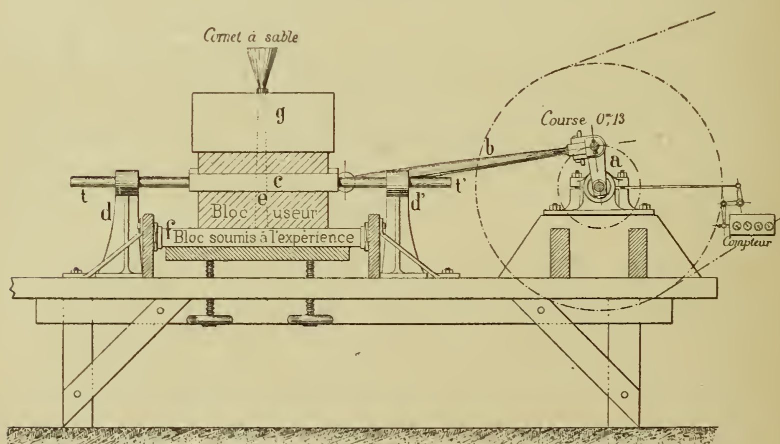


Fig. 701.

d'Ivry, une longue série d'expériences sur la résistance à l'user des principaux matériaux propres au revêtement du sol. Il s'est servi pour ces essais d'un appareil ingénieux dont la disposition est indiquée figure 701. Un arbre mû par la

transmission de l'usine actionne une manivelle *a*, soutenue sur la table d'expérience, et, par l'intermédiaire de la bielle *b*, le mouvement circulaire se transforme en un mouvement rectiligne alternatif du chassis *c*, guidé par les deux tiges *t* et *t'* dans les supports fixes *d*, *d'*.

Le chassis laisse passer librement le bloc useur *e*, qui est entraîné dans le mouvement et vient frotter sur le bloc *f* soumis à l'expérience.

Le bloc à essayer, dans les recherches de M. Muller, avait une dimension de 0,29 × 0,48 ; il était solidement fixé dans un cadre sur la table, et réglé bien de niveau au moyen des quatre vis à volant qui le supportent.

Le bloc useur doit avoir un poids constant ; on le surmonte d'une boîte *g* dans laquelle on verse un lest de sable qui complète exactement les 50 kg. de poids total de l'ensemble, boîte et bloc.

La matière usante interposée entre les deux surfaces frottantes est le sable blanc de Fontainebleau, séché et tamisé, que l'on introduit au moyen de trois trous percés dans le bloc useur ; ce sable s'étend entre les surfaces par des rainures en forme de pattes d'araignées pratiquées sur la surface même du bloc ; l'alimentation se fait par trois cornets maintenus pleins.

La surface de pression est de 0,20 × 0,25 ; la course est de 0,13, le nombre de tours par essai est de 10,000 enregistrés par un compteur, soit 20.000 coups de manivelle. Pour les matériaux de dureté très grande ou très faible, on a donné 20.000 tours ou 5.000 seulement, et l'on a ramené les résultats à 10.000 tours.

Reste à apprécier exactement l'usure de la surface. On retire le bloc usé B, fig. 702, et l'usure est représentée sur la partie frottée par un creux C ; on en mesure la profondeur au moyen de la règle micrométrique figurée en R.

La diminution d'épaisseur est proportionnelle au chemin que parcourt l'extrémité d'une aiguille N le long d'un cercle gradué ; cette aiguille est actionnée par un pignon, que commande une crémaillère dentée dont l'extrémité inférieure vient appuyer sur la partie usée sous l'effort du ressort U. Les bras de levier de la transmission de mouvement à l'aiguille sont dé-

terminés de telle sorte que chaque division principale corresponde à 1m/m d'usure et chaque subdivision à quatre centièmes de millimètre.

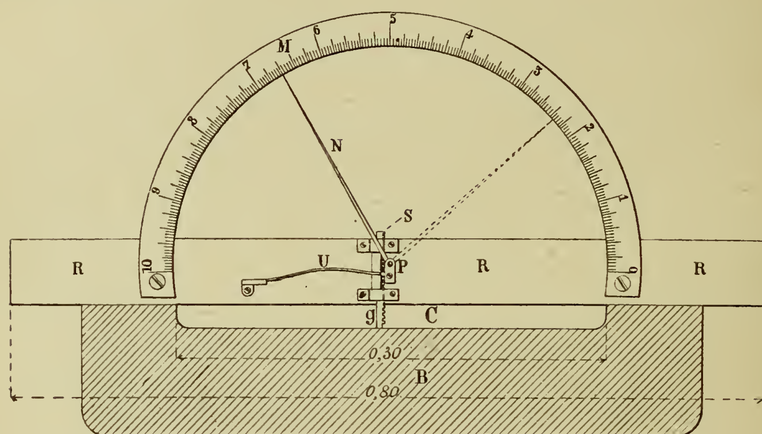


Fig. 702.

384. Résultats des expériences. — Le tableau suivant donne les résistances à l'user d'un grand nombre de matières, et le coefficient de dureté est exprimé en centièmes de millimètres disparus pendant l'essai ; une matière qui ne serait pas usée du tout après les 20.000 coups effectifs porterait le n° 0 et celle qui s'est usée de 6m/m,58 porte le n° 658.

Nature des produits soumis à l'expérience	Coefficient de dureté, résultant de l'expérience
1° Matières diverses :	
Matière qui ne serait pas usée après les 20.000 coups.	0
Quartzites des pavés bleus	11
Bétons agglomérés (vieux)	26
Granit de trottoirs	31
Béton aggloméré à base de chaux vive	46
Bétons agglomérés (béton d'un an)	48
Carrelages mosaïques en grès cérame	51
Agglomérés de ciment à la mécanique	61
Ciment moulé (Portland de Boulogne)	75

Nature des produits soumis à l'expérience	Coefficient de dureté, résultant de l'expérience
Carreaux en terre cuite	80
Bitume factice	95
Grès Morin des trottoirs	98
Carreaux en terre cuite	100
Alphalte de Seyssel	102
Pierre blanche de Vaudargues (Hérault)	102
Pierre bleue sciée de Soignies	106
Béton aggloméré	110
Terre cuite	118
Chaussée d'Asphaste relevée	122
Carreaux de terre cuite	123
Terre cuite	132
Ciment pur de Poiyol à Bédarieux	138
Bitume factice	140
Carreaux en terre cuite	140
Asphalte, dalle naturelle	146
Carreaux de terre cuite	150
Asphalte naturelle (peu de sable)	156
Terre cuite et machefer	158
Carreaux de chaux hydraulique	160
Pierre des carrières Rombaux	166
Carreaux polychromes	189
Carreaux de terre cuite	210
Pierre grise de Vaudargues (Hérault)	214
Pierre d'Argentan	227
Carreaux de terre cuite	228
— —	422
— —	684
2° Roches volcaniques :	
Trachyte d'Aurillac	64
Lave de Volvic	106
Trachyte porphyroïde de Montusclat	131
Roche basaltique d'Agde	168
3° Grès :	
Grès de Pouvrai (Orne)	32
Grès bigarré de Saint-Germain (Haut-Rhin)	55
Grès rouge de Plaine (Vosges)	107
Grès vosgien d'Epinal (Vosges)	165
Grès de Roumengoux (Ariège)	238
Schiste ardoisier gris rosé de Monthermé (Ardennes)	276
Grès bigarré d'Epinal (Vosges)	282
Schiste ardoisier de Javron (Mayenne)	290

Nature des produits soumis à l'expérience	Coefficient de dureté, résultant de l'expérience.
Grès infraliasique de Provenchères (Haute-Marne).	717
Schiste ardoisier gris vert de Monthermé (Ardennes)	878
4° Pierres Calcaires :	
Marbre de Ferques, (Pas-de-Calais)................	36
Pierre de Meillerie (Haute-Savoie)................	57
Roche blanche de Toulignan (Drôme).............	62
Calcaire gréseux de Manighem (Pas-de-Calais)......	67
Marbre de la Jallerie (Mayenne)..................	70
Pierre froide de Frontignan (Hérault)..............	75
Pierre lithographique de Fuveau (Bouches-du-Rhône)	76
Pierre marbre de Comblanchien (Côtes-d'Or)........	80
Pierre de Montmerle (Ain)........................	83
Pierre du Nemont (Jura)..........................	90
Dalles de Celles (Ariège).........................	94
Pierre de Chamarac (Ardèche).....................	96
Pierre de Vaison (Vaucluse).......................	97
Marbre de Roche-sur-Forest (Haute-Savoie)....... .	98
Pierre blanche de Vaudargues (Hérault)...........	102
Pierre dure de Saint-Dizier (Haut-Rhin)...........	106
Calcaire à entroques de Brochon (Côtes-d'Or)......	110
Calcaire gréseux de Chandolin (Sarthe)............	112
Marbre de Cier de Rivière (Haute-Garonne)........	112
Pierre dure de Bucy-lès-Gy (Haute-Saône)..........	119
Calcaire lacustre de Pontlevoy (Loir-et-Cher).......	126
Calcaire compacte de Gannat (Allier)..............	131
Marbre dit de Saint-Anne (Nord)..................	134
Calcaire Lacustre de Briare (Loire)................	137
Liais de Venderesse (Aisne).......................	149
Pierre de Crussoles (Ardèche).....................	158
Pierre de la Fosse en-Breuil (Vienne)..............	163
Calcaire à entroques de Grenant (Haute-Marne)....	166
Pierre châline d'Aubreville (Meuse)................	166
Pierre dure de Corps (Vendée).....................	174
Liais de Troësnes (Aisne).........................	175
Pierre bleue de Soignies (Belgique)................	197
Pierre de Chérence (Seine-et-Oise)................	203
Pierre blanche de Dieue (Meuse)..................	210
Pierre de Venterol (Drôme)........................	210
Pierre grise de Vaudargues (Hérault)..............	214
Calcaire compacte de Villentrois (Indre)..........	224
Pierre de Tessancourt (Seine-et-Oise)..............	230
Liais de Lézines, dit de Tonnerre (Yonne).........	244
Pierre de Chauvigny (Vienne)......................	255

Nature des produits soumis à l'expérience	Coefficient de dureté, résultant de l'expérience
Pierre d'Echillais (Charente-Inférieure)............	296
Pierre de Saint-Rémy (Bouches-du Rhône).........	298
Pierre de Montoulieu (Haute-Garonne)............	322
Roche de Saint-Nom (Seine-et-Oise)...............	354
Pierre blanche d'Ambly (Meuse)..................	374
Banc franc de Frontenac (Gironde)................	382
Pierre de Barbentane (Bouches-du-Rhône)..........	401
Pierre rouge de Saint-Pezenne (Deux-Sèvres).......	446
Pierre de Laroque et Puycelci (Tarn)..............	482
Pierre fine d'Haudainville (Meuse).................	548
Pierre de Beaume de transit (Drôme)..............	708
5° Bétons :	
Trottoirs en ciment du port de Nice (Alpes-Maritimes)..	71
Dalles en mortier de ciment, 3 mois de fabrication, prise lente....................................	147

L'examen de ce tableau montre que la résistance à l'user est loin d'être proportionnelle à la résistance à l'écrasement et à la dureté. Ainsi l'asphalte de Seyssel a pour coefficient 102, tandis que la pierre de Soignies, sorte de marbre noir, a 197 et le liais de Tonnerre 244.

Il résulte également de ces expériences une grande variation dans la qualité d'une même matière ; la terre cuite, suivant les échantillons, par exemple, a donné les chiffres 80, 100, 118, 123, 132, 140, 150, 158, 210, 228, 422 et 684. Les bétons agglomérés passent de 26 à 110 ; le dallage en Portland, de 61 à 147.

385. Sols extérieurs aux bâtiments. Revers et trottoirs. — Les sols extérieurs aux bâtiments sont généralement réglés comme surfaces, niveaux et pentes pour résister aux frottements et circulations diverses et éloigner les eaux pluviales et autres.

Ces sols peuvent constituer des voies publiques, des cours intérieures ou des jardins. Les bâtiments sont construits en surélévation de ces sols pour permettre l'évacuation des eaux,

et le pied des murs est préservé de ces eaux par une surface solide en pente.

Si cette surface est la continuation du sol voisin, c'est un *dévers* (fig. 703) ; si elle est en surélévation d'une marche au-dessus de ce sol, c'est un *trottoir* (fig. 704). Si elle est encore plus surélevée, c'est une *terrasse*.

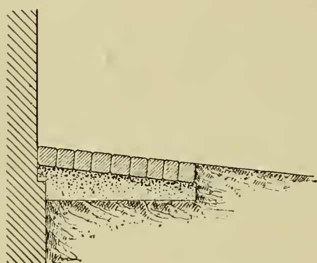


Fig. 703.

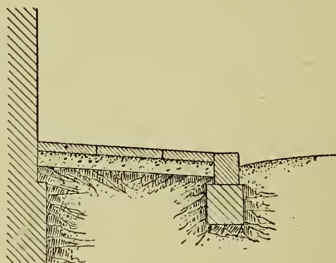


Fig. 704.

Les dévers peuvent être faits en pavage ou en enduit d'asphalte ; les trottoirs sont faits en dallages ou en enduits divers, et les surfaces ainsi formées sont arrêtées et limitées par une assise de matériaux durs et stables que l'on nomme la *bordure*. On donne d'ordinaire aux trottoirs : 1° une pente longitudinale que l'on règle de manière à faciliter l'écoulement des eaux qui s'amasseront le long de la bordure, et aussi à desservir convenablement les entrées du bâtiment ; 2° une pente transversale pour empêcher l'eau de séjourner et la conduire directement au-delà de la bordure. La pente par mètre dépend des matériaux employés.

Les pierres de bordure doivent être assez massives pour maintenir par leur poids la surélévation du trottoir, et assez bien fondées pour ne craindre aucun affaissement.

Lorsque la bordure est à poser dans une cour ou sur une voie peu fréquentée, on lui donne 0 m. 18 de largeur sur 0.24 de hauteur. Lorsqu'au contraire elle est exposée aux chocs des roues des voitures, on lui donne 0.30 de large sur 0.30 de hauteur.

Lorsque deux alignements de bordures se rencontrent, on les raccorde en plan par des arcs de cercle au moyen de bor-

dures circulaires auxquelles on donne rarement plus de 3 m. à 3 m. 50 de rayon.

Ces bordures sont posées sur un mur de fondation en petits matériaux et mortier, qui repose lui-même sur une couche de terrain, sur l'invariabilité de laquelle on puisse compter.

A Paris et dans nombre de villes importantes, ces bordures se font en granit de Normandie ou de Bretagne ; dans d'autres localités, on prend les pierres dures que l'on a à sa disposition. Certains calcaires froids conviennent même pour ce genre de constructions, par exemple les pierres de Souppes, d'Hauteville, de Belvoye, etc.

Le corps du trottoir, c'est-à-dire la surface comprise entre la bordure et les bâtiments, peut être fait en pavage, en dalles de granit, en mastic d'asphalte ou en ciment ; nous décrirons plus loin ces sortes d'ouvrages.

Lorsque les sols extérieurs sont ceux de courettes de petite surface, où les voitures ne peuvent pénétrer, on les traite comme des trottoirs en réservant sur leur surface les pentes et les points bas nécessaires pour conduire les eaux aux endroits où doit s'effectuer leur départ.

Au-delà des revers et trottoirs, le sol peut être une allée de parc ou de jardin que l'on se contente de sabler. Si le sol est humide, il est bon de l'assécher préalablement par un drainage ; il convient en outre de remplacer toute terre argileuse par un enrochement portant une couche de pierres cassées ou de cailloux avec sablage superficiel, pour être sûr d'avoir aux abords de l'habitation un sol ferme s'asséchant vite par les plus mauvais temps.

386. Chaussées. Leur profil. — Le sol qui suit les revers et les trottoirs peut être susceptible d'être parcouru par les voitures ; il s'appelle alors une chaussée. Celle-ci doit être assez solide pour résister au roulage des voitures chargées, assez bien fondée pour répartir cette charge sur une surface suffisante de terrain ; enfin, sa surface supérieure doit être réglée de manière à donner écoulement immédiat aux eaux pluviales.

Les chaussées aux abords des bâtiments viennent buter contre la bordure du trottoir ; cette dernière doit avoir une section plus grande que celle nécessaire pour les bordures des cours, parce qu'elle a à résister au choc des roues des voitures.

Les chaussées ont une forme bombée dans la largeur de la voie pour donner écoulement à l'eau, et pour la ramener au pied des bordures du trottoir ; c'est l'angle formé par la face verticale de ceux-ci avec la chaussée qui constitue le ruisseau ou caniveau. Le bombement dépend de la largeur de la voie et des matériaux qui la composent.

On peut la former de pavés, pierres à formes géométriques posées en liaison les unes avec les autres. On peut la faire en cailloux enchevêtrés ; c'est la chaussée en empierrement ou macadamisée. On peut la constituer avec de l'asphalte comprimée ou encore avec des pavés de bois.

Quelle que soit la matière employée, il faut qu'elle soit aussi homogène que possible, car c'est l'usure inégale qui donne naissance aux flaches qui accélèrent la destruction de la surface.

387. Fondation des chaussées. — Entre le pavage et le terrain, on interpose une fondation qui a pour but de répartir sur une surface suffisante du sol naturel le poids dont les roues chargent chaque pavé individuellement. Longtemps on a employé exclusivement pour cet office le sable, en raison de son incompressibilité et aussi de sa demi-fluidité qui répartit la charge d'un pavé sur une surface considérable de terrain inférieur. Le sable réussit dans tous les terrains solides qu'il ne peut pénétrer, mais il s'enfonce et disparaît dans les terrains glaiseux et humides. Aussi, a-t-on reconnu que l'on avait grand avantage à établir une bonne fondation pour assurer l'invariabilité du sol des chaussées très fréquentées et a-t-on remplacé dans les voies fatiguées des villes la forme en sable par du béton de ciment de Portland de 0 m. 20 environ d'épaisseur. Cette disposition est appliquée maintenant d'une façon générale pour les pavages en bois ou l'asphalte comprimée.

Pour le pavage en pierre, on a eu quelques mécomptes : le pavé, compris entre la roue de voiture et la fondation sans élasticité, tendait à s'écraser et à s'user rapidement. Cela tenait à ce que le pavé ne faisait pas partie intégrante du bloc et ne serait pas arrivé si l'on avait fait le scellement et le jointoyage des pavés en même mortier que le dessous ; chaque pavé aurait été soudé aux voisins qui l'eussent aidé à porter la charge sans écrasement. — On a employé ensuite une méthode peu rationnelle qui consiste à interposer entre la couche de béton et le pavé une forme de sable d'environ 0.08 à 0.10 d'épaisseur.

Les pavages sur forme de ciment peuvent trouver leur application dans les passages de portes cochères et les cours des constructions importantes, surtout lorsqu'elles recouvrent des caves qu'il faut garantir de l'eau.

388. Des pavages en pierre. — On emploie à la construction des chaussées pavées toutes les pierres dures : le granit, le porphyre, les basaltes, les grès, les schistes, quelques pierres calcaires, quelques silex.

A Paris, la roche la plus employée pour cet usage est le grès ; on le tire surtout des vallées de l'Yvette et de la Juine, ainsi que de Fontainebleau. Les pavés de cette dernière localité sont les moins estimés ; ils sont souvent plus tendres et absorbent l'eau en plus grande quantité.

Les échantillons principaux sont :

Le gros pavé cubique de 0.22 à 0.23 de côté ;
Le pavé bâtard cubique de 0.18 à 0.20 de côté ;
Le pavé méplat de 0.19×0.19×0.10;
— — 0.16×0.16×0,07;
— — 0.14×0.14×0.07.

Les gros pavés sont moins glissants pour les chevaux ; ils donnent plus de prise dans les pentes, mais la surface qu'ils présentent est moins régulière et les flâches y sont plus grandes ; leur nettoyage est plus difficile.

Le pavé bâtard est plus régulier et les chaussées en pavés méplat donnent une surface beaucoup plus belle.

Les pavés sont établis sur la forme ou la fondation par rangées transversales, et leurs joints se croisent d'une rangée à l'autre. Pour n'avoir pas à recourir à des demi-pavés le long du trottoir, il est nécessaire d'avoir des pavés *a*, *a* ayant une fois et demie la longueur des autres, au commencement des rangées paires ou impaires. Ces pavés spéciaux sont les *boutisses*.

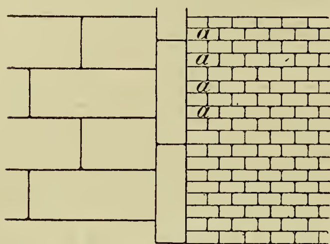
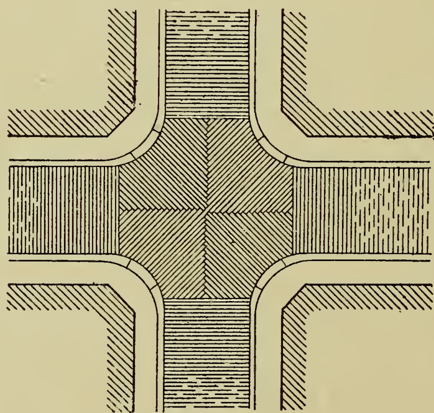


Fig. 705.

Lorsque l'on pave avec des pavés méplats, on met leur longueur dans le sens des rangées pour présenter leur petit joint à la direction du chemin parcouru par les roues des voitures ; de cette manière les flaches que cette circulation occasionne sont aussi petites que possible. Aux croisements de chaussées, pour la même raison, on dispose l'appareil de pa-


Fig. 706.

vage de telle sorte que les joints des rangées successives soient sensiblement perpendiculaires à la circulation des voitures, ou au moins que les roues prennent les rangées en biais. Dans chaque cas on cherche la disposition qui présente le mieux cet avantage, et la fig. 706 en donne un exemple, montrant l'appareil de pavage à l'intersection de deux rues.

389. Pose du pavé. — Dans les voies publiques, les pavages sont généralement posés sur forme de sable, avec joints en sable de 0 m. 020 à 0,025 d'épaisseur. L'ouvrier paveur se sert d'un outil appelé marteau ; d'un côté, cet outil présente une tête pour frapper la face du pavé et l'assujettir, de l'autre, il a la forme d'une cuiller, ce qui permet de creuser dans le sable la place du pavé. A mesure que le pavage avance, un autre ouvrier vient de nouveau assurer et affermir chaque pavé en le frappant avec une *hie* de 35 à 40 kgs qu'il soulève par les deux poignées et laisse retomber. Enfin, on répand sur la surface environ 0.02 de sable, qui pénètrera dans les joints à mesure que ceux-ci se tasseront. — Cette manière de poser les pavés, usitée à Paris, n'est peut-être pas la meilleure ; on cite le mode de pose de Rouen, qui consiste à faire tasser le sable de la forme par des arrosages répétés, à régler la surface avec des dames plates et à poser ensuite les pavés sans entamer le sable. Après la pose des pavés à sec, on remplit parfaitement les joints avec du sable répandu sur leur surface, arrosé à grande eau et remué au balai jusqu'à ce que les joints cessent de se dégarnir sous le jet de pleins seaux. — Cette méthode est basée sur le fait bien connu de l'incompressibilité du sable noyé ; pour se rendre compte de la grande diminution du volume résultant de l'action de l'eau, il suffit de remarquer ce qui se passe lorsqu'on vide un seau sur un tas de sable : l'eau contenue y entre en y faisant un trou, ce qui montre que les grains de sable rencontrés se sont serrés les uns contre les autres.

Dans les propriétés et les cours intérieures, on cherche à éviter que le sous-sol ne s'imprègne d'une grande quantité d'eau, et on rend le pavage plus imperméable en scellant chaque pavé en mortier de chaux ou de ciment qui, pendant la pose, remplit les joints ; on augmente l'étanchéité en dégradant les joints à la fin du travail sur une profondeur de 0,05 à 0,06 et les refaisant avec du mortier neuf de ciment à prise lente, bien appuyé au fer.

Seulement, on n'opère ainsi pour les pavés au mortier que lorsque l'on est sûr que, jusqu'à la prise complète, ils ne seront pas soumis au roulage des voitures. Sans cela, les vibra-

tions détérioreraient le mortier, dont les morceaux ne vaudraient pas le sable ; celui-ci coule au bas des joints mal garnis, ce qui retarde le moment où une réparation devient nécessaire.

On se contente dans bien des cas de ne poser au mortier que les pavés qui forment les ruisseaux d'écoulement des eaux, pour éviter l'absorption des matières organiques qu'elles contiennent.

On obtient pour le passage des eaux sales une étanchéité absolue en faisant les joints en asphalte coulée et passée au fer chaud ; on prend avantageusement cette précaution pour tout le pavage d'une cour, lorsque ce pavage vient recouvrir des voûtes de caves qu'il y a à garantir des infiltrations.

On a souvent employé pour le pavage, notamment à Paris, des roches plus dures que le grès, par exemple le porphyre. Ces matériaux donnent des chaussées plus résistantes, mais aussi plus glissantes pour les chevaux. Sous ce rapport, ces pierres sont bien inférieures au grès, qui, tout en étant assez dur, ne prend pas le poli sous l'action du fer des attelages.

390. Pavés de deux. — On nomme *pavés de deux* des pavés qui sont obtenus quelquefois par la refente des pavés cubiques et ont ainsi la moitié de leur épaisseur ; leurs dimensions sont donc de 18 à 20 cm. de côtés et 0.08 à 0.12 d'épaisseur.

Ils servent à faire économiquement des pavages qui ont peu de fatigue, pour exécuter par exemple les surfaces de cours, de revers, de passages, d'écuries, etc. On les pose presque toujours sur mortier, leur rendant par le scellement la fixité que leur peu d'épaisseur tend à leur enlever. Il est nécessaire, quand on veut avoir un bon travail, de leur préparer en dessous une fondation en béton sur forme de sable.

On en fait aussi quelquefois des surfaces de trottoirs, entre mur et bordure.

Lorsque l'on veut une surface plus unie, on taille avec soin les surfaces pour les avoir bien planes et on dresse les arêtes en les mettant bien d'équerre l'une sur l'autre. C'est ce que l'on appelle des *pavés piqués* ou *pavés au panneau*. Cette

taille supplémentaire augmente la main d'œuvre et par suite le prix, mais le travail est bien plus uni. On le complète par un jointoiement au ciment passé au fer, ce qui donne à la surface une régularité très agréable.



Fig. 707.

C'est ordinairement en pavés de deux au panneau que l'on fait ce que l'on nomme les *bateaux de porte cochère*, au devant des passages d'entrée des maisons. On nomme ainsi les parties de trottoir en pente qui permettent aux voitures l'accès de ces passages, comme la surface A de la fig. 707. La partie pavée, qui a la largeur même *l* de la porte cochère au droit du mur de la maison, va en s'élargissant vers la bordure, où elle atteint une largeur *m*. Dans cette largeur, la bordure s'abaisse de manière que son relief au milieu se réduise à 0.06 au-dessus du ruisseau, et de chaque côté remonte en pente douce. L'élévation du trottoir au droit de l'entrée d'une maison sur la voie publique présente donc l'aspect de la fig. 708. L'emploi de ces pavés donne de la prise aux chevaux pour les faire gravir l'entrée de la porte dans la largeur du

trottoir où l'abaissement de la bordure augmente la pente en travers.

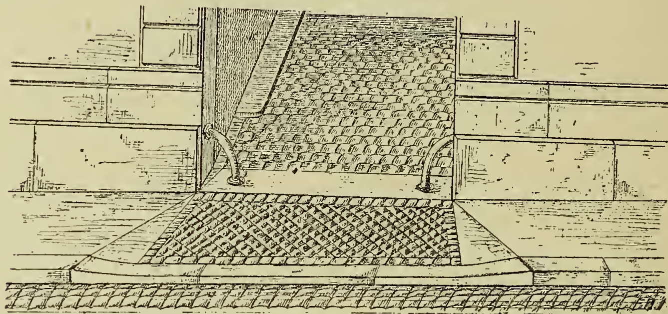


Fig. 708.

391. Pavage en bois. — Depuis quelques années, on multiplie beaucoup les applications du pavage en bois. Les pavés faits avec cette substance ont été essayés avec diverses essences, chêne, hêtre, pins et sapins. Maintenant, on les fait exclusivement en sapin, que l'on trempe dans un liquide préservateur. comme la créosote ou une solution claire de goudron. Le bois est employé debout, et on le pose sur une forme préalablement bien réglée de béton de ciment, de 0.18 à 0.20 d'épaisseur, recouverte d'un enduit en ciment. Les blocs sont sciés à une longueur fixe, variant de 0,14 à 0,18 dans des madriers du commerce. Chaque pavé a donc 0,22 × 0,08 × 0,14 à 0.18, cette dernière épaisseur variant avec la fatigue de la surface.

Les pavés en bois s'appareillent comme ceux en pierre, par rangées perpendiculaires au chemin du roulage, et les petits côtés parallèles à ce roulage pour avoir les plus petites flaches.

On les pose sur la forme en les écartant de 0 m. 015 l'un de l'autre, et deux rangées successives sont elles-mêmes écartées de 0,015 à 0,020. On régularise cet écartement par des règles en bois qui occupent le fond du joint, et qu'on laisse la plupart du temps en place ; on répand sur le pavage un mortier clair de ciment à prise lente qui remplit tous les joints.

Comme il faut prévoir le gonflement du pavé par l'effet de l'humidité, il est bon de laisser un intervalle de 0 m. 05 entre la bordure du trottoir et les pavés les plus voisins ; on le remplit de glaise légèremeut humide et pilonnée.

Lorsqu'un pavage en bois est posé avec soin sur une bonne forme en ciment, il peut supporter un roulage très considérable et donner longtemps un bon service. Il présente sur le pavage ordinaire l'avantage d'une insonorité absolue, propriété qu'il partage avec l'asphalte comprimée dont il sera parlé plus loin.

On peut en faire des chaussées, des pavages de passages et de cours, à condition que ces passages et ces cours soient entretenus très propres et ne soient pas sujets à recevoir des détritus de matières organiques.

Dans les endroits où le bois serait exposé au contact de substances animales, dans des écuries par exemple, l'absorption due à sa porosité donnerait, par la décomposition de ces matières, un sol des plus infects. Il faut donc le proscrire partout où la propreté n'est pas d'une rigueur absolue.

On fait volontiers en bois les sols des ateliers de mécanique. Cette substance a l'avantage de présenter un contact doux aux objets métalliques que ces sols doivent porter et de ne pas émousser ou casser les outils qui tombent des établis. Lorsque l'on emploie ce pavage, on se contente alors de 0,08 à 0,10 d'épaisseur pour les pavés, et on fait les joints soit au mortier de ciment, soit au mastic d'asphalte fondu.

392. Pavés en grès cérame. — On fait aussi, soit pour les passages de porte cochère, soit pour les cours, des pavés en grès cérame. Ces pavés, bien cuits, présentent une dureté considérable et peuvent supporter facilement le roulage des voitures pourvu qu'ils soient posés à bain de ciment sur une aire suffisamment fixe. Ces pavés sont de deux sortes : unis sur leur surface supérieure, là où les pieds des chevaux ne les parcourent pas, ou divisés en 4 par deux stries profondes pour donner plus de prise dans les parcours milieu. Ils ont environ 0,14 de côté, 0,07 d'épaisseur. On les obtient soit de couleur jaune claire, soit noirs et on peut les disposer en dessins réguliers, comme le montre la figure 709, qui représente en plan un passage de porte cochère. Dans ce passage, les bandes latérales où circulent les roues sont faites en carreaux unis, tandis que ceux de la partie milieu, exécutés avec des stries,

sont disposés en losanges avec demi-pièces coupées diagonalement formant le raccord des rives.

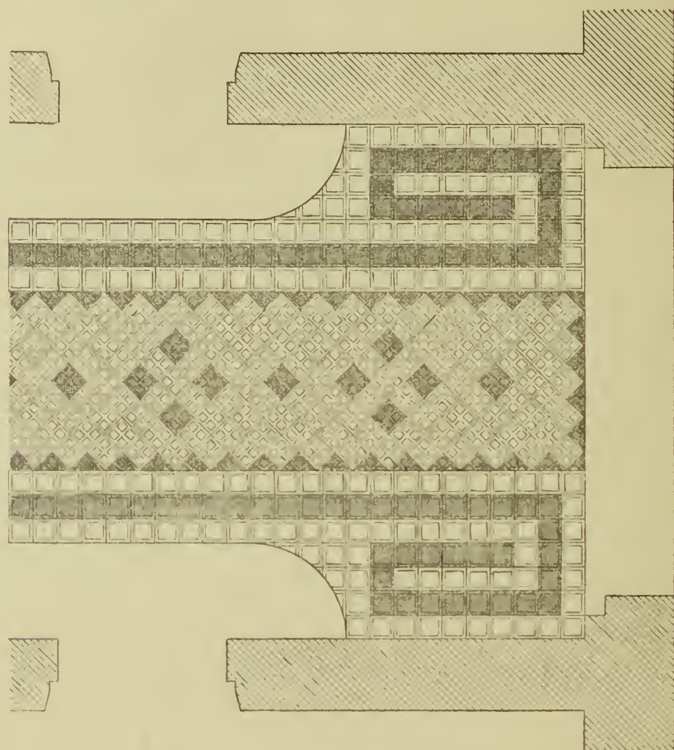


Fig. 709.

393. Sols empierrés ou en macadam. — Si, après avoir dressé, sur un terrain suffisamment solide, un encaissement de 0 m. 20 à 0,30 environ de profondeur, on le remplit de cailloux ou pierres dures cassées de 0,05 environ de grosseur, et si on roule la surface de ces matériaux jusqu'à ce qu'ils soient suffisamment enchevêtrés pour demeurer fixes, on a ce que l'on appelle un *sol empierré* ou *en macadam.*

On active le résultat du roulage en jetant à la surface du macadam, déjà suffisamment roulé, du sable pur ou très légèrement argileux; il pénètre dans les interstices et facilite la soudure. Si on mettait le sable avec les cailloux, il s'opposerait à l'enchevêtrement dont on vient de parler, empêcherait le contact des pierres, et on n'aurait qu'une chaussée sans consistance.

Les pierres siliceuses donnent de bons empierrements. Il n'en est pas de même des matériaux calcaires qui ont une consistance de beaucoup inférieure[1]. Les chaussées empierrées, économiques de construction, exigent un entretien plus onéreux que le pavé; mais, elles évitent le bruit, et sont d'un service agréable lorsqu'elles n'ont pas à desservir un trop gros roulage. On peut de même faire en macadam de grandes cours intérieures parcourues par des voitures légères.

Le roulage ou cylindrage se fait avec de gros rouleaux en fonte chargés par des caisses remplies de pavés ou autres matières lourdes[2], traînés par des chevaux ou actionnés par des machines à vapeur. Lorsque l'on veut avoir un sol parfaitement établi en empierrement, il faut faire les frais de cette compression au rouleau et ne pas compter, pour l'obtenir, sur la circulation immédiate des voitures. On facilite beaucoup la prise du macadam en l'arrosant copieusement pendant tout le temps du cylindrage.

Les sols macadamisés ne s'étendent pas jusqu'aux trottoirs ; les ruisseaux sont formés par des revers en pavés sur une largeur de $0^{m},50$ à $1^{m},00$. Malheureusement, le raccordement avec la chaussée macadamisée devient promptement défectueux, par suite de l'usure de celle-ci ; aussi est-il bon de tenir l'empierrement un peu haut le long du revers lorsqu'on procède aux rechargements. Quand cet empierrement commence à faire cuvette, une réparation sérieuse s'impose. Il est important de remarquer qu'on ne peut laisser l'usure s'étendre à une grande épaisseur, dans les parties bordées de caniveaux ; il en résulte qu'on fait une dépense peu justifiée lorsqu'on compose la couche inférieure de l'empierrement de matériaux très chers ; l'emploi de pierres de première qualité est au contraire presque indispensable en couche superficielle, du moins lorsque la circulation est forte. Quand le

1. Cependant, dans les localités à étés très chauds, l'emploi des calcaires peut avoir des avantages, à la condition de faire d'excellents cylindrages. On y a recours sur une grande échelle dans les Bouches-du-Rhône.

2. Au commencement de l'opération, on ne remplit pas les caisses. On les charge seulement à moitié lorsque les pierres commencent à se fixer, et complètement un peu plus tard.

terrain inférieur est glaiseux, il est bon d'augmenter l'épaisseur de l'empierrement, et de l'établir sur une première assise de pierres plates bien damées sur la glaise pour l'empêcher d'y pénétrer ; il peut même être nécessaire de donner à la fondation plus d'importance, car on a constaté dans le département du Nord qu'après les grands froids il y a des soulèvements au dégel lorsque l'épaisseur totale, fondation et chaussée, est inférieure à $0^m,45$.

394. Dallages en pierres. — Les surfaces de trottoirs ou analogues, magasins ou ateliers, dont le sol a besoin d'une grande résistance,sont souvent exécutées en grandes dalles de pierres de 0,08 à 0,10 d'épaisseur. La surface de chaque dalle est en rapport avec son épaisseur. Avec $0^m,10$ on va jusqu'à $0^m,50$ de largeur et 0,75 à 0,80 de longueur. On établit ces dalles sur une fondation de $0^m,10$ en béton et on les pose sur mortier pour bien remplir le joint inférieur. On les assujettit en frappant dessus avec une sorte de pilon plat ou de *dame* en bois.

Les dalles sont appareillées avec soin ; les joints sont croisés et autant que possible régulièrement disposés. Chaque pierre a sa surface supérieure bien dressée à la boucharde, avec ciselure au pourtour.

Pour les trottoirs, on emploie les pierres les plus dures dont on dispose ; à Paris, on prend le granit de Normandie ou de Bretagne ; dans le Centre de la France, on se sert de la lave de Volvic. Enfin, pour des surfaces plus soignées, on prend les pierres calcaires dures, telles que les liais ou les roches de Comblanchien, Grimault, etc.

On fait, par économie, quelquefois usage de pierres artificielles ou dalles moulées en ciment, soit pour le sol lui-même soit aussi pour les bordures. Elles sont moins décoratives que les pierres naturelles, mais leur prix les fait adopter de préférence dans bien des cas industriels[1]. On les pose de la même manière, et l'on fait pour les unes comme pour les autres un jointoyage soigné en mortier de ciment.

1. On cite même des bordures artificielles d'un bon usage à Dieppe, à Fécamp, etc.

395. Dallages en ciment à prise lente. — On exécute des revêtements du sol extérieur très économiques en les construisant en mortier de ciment à prise lente, qui devient par un emploi soigné d'une dureté considérable. Il faut opérer de la manière suivante :

On fait avec du gravier et du ciment un mortier maigre, sorte de béton fin (5 de gravier, 1 de ciment et très peu d'eau) ; on l'applique sur le terrain préalablement battu avec une épaisseur de 0m,08 à 0m,16, suivant la fixité même de ce terrain. On pilonne bien cette forme et on en arase la surface à 0m,02 en contrebas du sol futur, laissant ainsi la place de la couche définitive d'enduit.

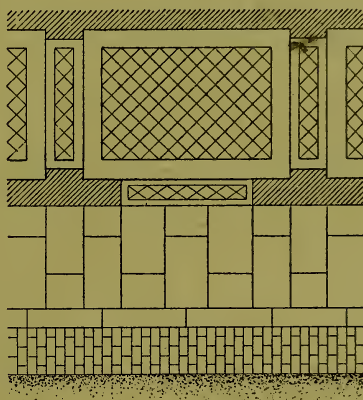


Fig. 710.

On étend ensuite cette dernière couche qui est composée de mortier formé de parties égales de sable fin tamisé et de Portland. On la dresse à la spatule et on l'appuie fortement à l'outil jusqu'au commencement de la prise, la dureté ultérieure dépendant de la pression.

On passe ensuite, avant que la prise soit complète, à l'opération du *quadrillage* qui a un double but : 1° d'empêcher que la surface ne soit glissante, et 2° de produire des lignes de faible résistance en cas de retrait du ciment ; les fentes qui se produisent alors suivent les joints du quadrillage et sont moins apparentes.

On cherche un appareil imitant un dallage ou un carrelage en pierre ; on l'établit bien symétriquement et en rapport avec l'ordonnancement des murs voisins, et on en fait un dessin décoratif. On trace les joints ainsi simulés à une certaine profondeur, 6 à $10^{m}/^{m}$. La figure 710 donne la représentation d'un dallage en ciment établi dans une galerie et formant également le trottoir extérieur. On a reproduit dans la galerie la division des travées, les soffites y sont indiqués, et les parties milieu sont tracées pour imiter un carrelage losangé.

Le trottoir est plus simple; l'appareil indique seulement de grandes dalles et imite la construction en granit.

On rend l'apparence de pierre plus saisissante encore en imitant le parement bouchardé au moyen d'une tôle percée tendue sur chassis, et dont les aspérités appuyées sur le ciment frais produisent la maille de la boucharde ; puis, on fait les joints bien réguliers avec une roulette emmanchée en fer (fig. 711) dont le profil reproduit non seulement le joint lui-même, mais les deux ciselures voisines qui sont ainsi enlevées sans grande façon et avec une régularité absolue.

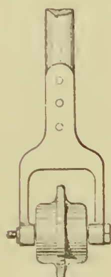


Fig. 711.

Le retrait du ciment est d'autant plus fort que la matière est de fabrication plus récente. Aussi il est bon, pour les dallages en ciment, de s'approvisionner longtemps à l'avance. Du ciment de 2 à 3 mois est très convenable pour cet usage. Il prend très lentement, mais acquiert une très grande dureté et a beaucoup de chances pour ne plus se fissurer par le retrait.

Il est bon, dès qu'un dallage est fait, de le recouvrir de $0^{m},06$ de sable fin que l'on maintient humide, et de ne pas établir la moindre circulation sur sa surface avant une quinzaine de jours ; l'enduit est alors bon à être découvert et livré au service.

396. Asphalte et bitume[1]. — L'*asphalte* est une roche calcaire, un carbonate de chaux pur imprégné de bitume.

1. Les renseignements suivants sont extraits du traité : « *l'asphalte* » de M. L. Malo, le savant directeur des mines d'asphalte de Seyssel et de la Compagnie générale des Asphaltes à Paris.

Le *bitume* est un carbure d'hydrogène, solide à la température ordinaire, noir, brillant, à reflets rougeâtres. Il fond vers 50° et passe avant de fondre à un état pâteux préalable. Il s'étire alors facilement en longs fils d'apect rougeâtre brillant. Sa densité est d'environ 1,000 kg. le m. c. Chauffé à 200 ou 250° pendant plusieurs heures, il perd à peine de son poids, ce qui dénote une certaine fixité.

La roche calcaire imprégnée de bitume, l'*asphalte* ressemble en été à une pierre tendre ; l'hiver elle a l'aspect d'une roche dure. Son grain est fin, sa couleur chocolat foncé. Chauffée à 50 à 60°, elle devient friable et s'écrase sous la pression des doigts. Chauffée davantage, en raison du ramollissement du bitume, elle se désagrège d'elle-même et tombe en poussière.

Cette poussière, à 100°, comprimée fortement, se soude à elle-même et reconstitue la roche asphaltique.

L'*asphalte* se trouve à Seyssel, à Chiavaroche en France et au Val-de-Travers en Suisse. On en trouve aussi en Sicile.

Le *bitume* se trouve à l'état natif : en Auvergne, associé à une gangue terreuse, au Mexique, à Cuba, à Trinidad mélangé à des sables.

397. Mastic d'asphalte. — On prépare, au moyen de l'asphalte et par une simple cuisson, un produit commercial prêt à être employé et que l'on nomme *mastic d'asphalte*. On opère la fonte dans une chaudière où l'on verse préalablement 250 kg. de bitume libre; et, quand il est fondu, on y ajoute petit à petit 3,500 kg. d'asphalte pulvérisée. Au bout de quelques heures, le tout est liquéfié et on le coule en pains ronds de 25 kg. sur lesquels on imprime la marque d'origine. C'est le mastic d'asphalte.

Le bitume libre qui a servi à faciliter la fusion s'extrait des sables bitumineux que l'on rencontre dans certains gisements (Bartennes, Seyssel, Clermont-Ferrand), ou encore vient des exploitations de Trinidad que l'on fond avec des résidus de la distillation des schistes.

398. Application de l'asphalte à l'état de mastic. Aire des trottoirs. — La principale application de l'asphalte

est l'établissement d'aires étanches dont les trottoirs de la plupart des villes donnent un exemple bien connu et bien répandu. Cette application se fait par la fusion et l'emploi du mastic d'asphalte. Elle se divise en trois opérations :

1° La confection de l'aire inférieure formant fondation ;

2° La préparation de la matière asphaltique ;

3° L'application de cette matière.

1° *Confection de l'aire inférieure formant fondation.* — La fondation doit être dure, résistante et bien réglée; elle varie suivant la solidité du sol inférieur. S'il est dur, on le dresse convenablement et on le recouvre d'une couche de béton bien pilonné de $0^m,10$ environ d'épaisseur ; on achève de régler exactement la surface de cette fondation en la recouvrant d'une chape, c'est-à-dire d'une couche de mortier de $0^m,01$ d'épaisseur que l'on étend avec une sorte de longue batte ou spatule en bois.

Le mortier du béton et de la chape est ordinairement fait en chaux hydraulique ordinaire. On doit préserver cette chape de toute atteinte jusqu'à siccité, condition indispensable pour l'application de la matière. Si le sous-sol inférieur était très humide, on remplacerait avantageusement la chaux hydraulique par du ciment à prise lente.

2° *Préparation de la matière asphaltique.* — On prépare la matière asphaltique dans des chaudières en tôle de fer chauffées à feu nu, que l'on appelle *chaudière à application.* La chaudière est préalablement transportée au lieu d'emploi et est d'une contenance de 400 kg. environ.

On y mélange 15 à 16 kg. de bitume libre et 300 à 350 kg. de mastic concassé, et on opère la fusion en procédant à des charges graduées et brassant le mélange continuellement. Lorsque la fusion est complète, on ajoute dans la chaudière du gravier en quantité convenable. On l'étale à la surface pour l'échauffer et le sécher, et on ne le brasse que lorsqu'il commence par son poids à disparaître dans la masse.

La quantité de gravier n'a de limite que ce que peut prendre l'asphalte sans cesser d'être applicable. C'est environ les 2/3 du poids du mastic. On l'ajoute d'ordinaire en deux fois. Ce sable diminue la quantité de mastic employée par unité de sur-

face, et donne ainsi un résultat économique : il durcit la masse, et il a encore pour objet de s'opposer au ramollissement de la surface lorsqu'elle est exposée au rayonnement solaire.

La matière est portée à la température d'environ 180°, qui est la plus convenable pour l'application, et on l'estime par la manière dont s'évaporent quelques gouttes d'eau projetées sur la surface du bain liquide.

Dans les villes importantes, où se trouvent développées de grandes entreprises d'application, on fait la fusion de la matière et le sablage à l'usine même, puis la matière est versée dans des cylindres montés sur roues qui servent à la transporter. Un foyer sous ces cylindres mobiles sert à maintenir la matière à température convenable, et un agitateur mû par un treuil empêche qu'il n'y ait certaines parties de la masse trop chauffées. On y gagne une meilleure fusion, une plus grande homogénéité et la suppression, sur les chantiers d'emploi, de la fumée et de l'odeur des chaudières ordinaires à application. Il y a en même temps économie de main-d'œuvre et économie de combustible.

3° *Application de l'asphalte.* — L'aire sur laquelle on doit étendre l'asphalte étant bien dressée et bien sèche, on procède à l'application. Cette opération est faite par deux ouvriers, un applicateur et un aide ; l'ouvrier pose sur le sol, pour limiter une bande, deux règles en fer de l'épaisseur de la couche, ordinairement 0 m. 015, et, à l'une des extrémités de cette bande, l'aide verse un seau ou pochon plein de mastic chaud. L'applicateur, à genoux et muni de sa spatule, régale la matière dans la largeur de la bande en l'appuyant bien sur la fondation et en la réglant d'épaisseur ; lorsqu'il est près de finir, on lui verse un nouveau pochon qu'il étend à la suite en reculant, et ainsi des autres.

Après cette bande une suivante, en supprimant l'une des règles qui est remplacée par le bitume déjà fait. Il faut avoir bien soin d'appuyer plus fortement le long de la bande précédente encore chaude pour obtenir une soudure. Si le raccord est à faire avec une rive ancienne et froide, on la réchauffe avec un pochon de mastic qu'on laisse en contact quelques

minutes, et qu'on enlève ensuite pour le remplacer par le mastic définitif que la chaleur fait adhérer.

Dès que la couche est posée et encore chaude, on la saupoudre de gravier fin. Le sablage de l'enduit rend la surface moins glissante et augmente sa consistance.

Lorsque la couche d'asphalte vient border une surface verticale, un mur par exemple, il est bon de chauffer un peu cette paroi et de relever le mastic de quelques centimètres le long du mur en l'appuyant fortement ; c'est ce que l'on appelle faire un solin. Il augmente l'adhérence et s'oppose jusqu'à un certain point au retrait par le froid. Malgré cette précaution, il est rare qu'en hiver l'enduit d'asphalte ne se sépare pas des parements des murs qu'il touche.

Lorsque l'on se sert de l'asphalte pour faire des trottoirs le long des bâtiments, l'enduit est compris entre le mur de face et une bordure en pierre ou en granit. La pente en long est la pente même que l'on adopte pour le sol le long de la façade. La pente en travers est déterminée de telle sorte que l'eau n'y puisse rester. Ordinairement à Paris les pentes transversales sont réglées à 0 m. 04 par mètre.

399. Autres applications du mastic. — On fait avec l'asphalte des dallages de cours et d'ateliers à rez-de-chaussée, d'écuries, de magasins à tous étages et en sous-sol, et en général cette application convient lorsque l'on n'a pas besoin d'une grande régularité de surface, et que l'on ne redoute pas le contact de corps chauds qui fondraient l'enduit et le détérioreraient.

Si la surface n'a pas une fatigue plus grande qu'un trottoir, on se contente d'un enduit de 0,015 d'épaisseur sur béton bien établi. Si l'on doit y rouler des marchandises lourdes, il est bon de porter l'épaisseur à 0,018, ou bien de mettre deux couches superposées de 0,015 chacune, les bandes étant croisées pour mieux les réunir.

Les corps lourds longtemps placés à demeure sur le bitume s'y impriment et même s'y incrustent fortement ; on évite cet inconvénient en scellant dans l'enduit d'asphalte des lambour-

des en bois recevant les charges fixes dont on a pu prévoir l'emplacement exact.

On peut couvrir des terrasses en asphalte. Cette couverture s'établit sur béton en deux couches : l'une inférieure, en bitume gras présentant toute l'élasticité voulue par les changements de température, aura 0,008 d'épaisseur. La seconde, qui devra offrir toute la dureté possible, sera en mastic sec très chargé de sable, pour résister au poids des objets lourds, tables, chaises, caisses, qu'elle aura à porter. Il faut aussi soigner les solins et soudures au pourtour pour éviter les infiltrations.

On fait avec l'asphalte des couches isolantes dans les murs à rez-de-chaussée, pour empêcher l'humidité de monter par capillarité ; on en fait des chapes de voûtes, soit dans les travaux de ponts, soit dans les fortifications ; on l'a proposé comme ciment pour lier les matériaux des blocs artificiels destinés aux constructions à la mer, là où les ciments calcaires sont rapidement détruits. Enfin, on en a fait des fondations de machines diverses lorsque ces fondations avaient à remplir la condition absolue de ne pas transmettre au sol et aux constructions voisines les vibrations et le bruit des pièces métalliques en mouvement.

400. Bitume factice. — On a essayé de reproduire artificiellement les pains de mastic d'asphalte, en mélangeant un calcaire comme le blanc de Meudon, par exemple, avec de la terre à four et du bitume, ou bien des résidus de distillation des schistes, ou encore du brai de gaz. On a obtenu ainsi sous le nom de *bitume factice* des produits de toutes qualités, surtout des mauvaises, qui ne peuvent produire des travaux convenables.

Tout au plus le mélange de ces matières étrangères avec le bitume de Trinidad bien épuré peut-il convenir à certains travaux comme les scellements de lambourdes ou les parquets sur bitumes. L'absence d'une qualité fixe, sur laquelle l'expérience permette de compter, doit faire proscrire des chantiers ces produits artificiels, dont l'emploi donne presque toujours des mécomptes et des insuccès.

401. Asphalte comprimée. Application aux chaussées. — La poudre d'asphalte, chauffée et comprimée, se soude à elle-même et reconstitue la roche primitive. Si on l'étend sur une fondation convenable en couche de 0,04 à 0,05 on a la chaussée en asphalte comprimée, assez résistante dans notre climat de Paris pour supporter le roulage énergique des grandes villes.

L'asphalte, pour bien résister dans ces conditions, doit être établie sur une fondation en ciment de 0,16 à 0,20 d'épaisseur suivant la nature même du sol. Le détail de l'application est le suivant :

On commence par chauffer la roche en poudre dans des fours spéciaux, à l'usine, et, lorsque la matière est homogène, de même température en tous ses points, on la charge dans des voitures spéciales, à caisses en tôle, recouvertes de bâches pour éviter le refroidissement au contact de l'air. La non-conductibilité de cette poudre pour la chaleur est telle qu'on peut la transporter ainsi, sans inconvénient, à 8 ou 10 kilomètres de l'atelier de chauffage.

La poudre arrivée au lieu d'emploi est chargée en brouette et répandue sur la fondation préparée. On l'égalise avec une sorte de râteau et on arrive avec l'habitude à régler de suite la quantité de poudre à employer, de telle sorte que la surface, une fois comprimée, donne régulièrement l'épaisseur demandée. La compression se fait au pilon, en commençant par les bords et avançant suivant des lignes régulières. Les pilons employés pour les rives ressemblent aux pilons des maçonneries de pisé longs et étroits ; ceux que l'on emploie pour le milieu de l'ouvrage sont circulaires de 0.20 environ de diamètre. On les chauffe avant de s'en servir pour que leur contact ne refroidisse pas la poudre.

Quelquefois on opère une compression complémentaire au moyen de rouleaux en fonte chauffés intérieurement et pesant de 500 à 1.500 kg. Enfin, on lisse la surface avec des fers chauds qui achèvent l'ouvrage.

Les chaussées asphaltées présentent les avantages d'une grande propreté et d'une insonorité absolue.

On peut trouver dans les bâtiments une application de cette

matière ; elle conviendrait dans les passages de portes cochères et dans les cours intérieures, où les voitures circulent alors sans le moindre bruit.

On n'emploie pas d'ordinaire pour les trottoirs l'asphalte comprimée, parce que l'on ne peut limiter l'épaisseur à moins de 0,04 à 0,05, et qu'alors la quantité de matière employée fait ressortir le prix de revient au mètre superficiel, à une somme bien plus élevée que celui de l'asphalte fondu. Il peut se présenter cependant telles circonstances où il serait convenable de l'employer pour cet usage.

§ 2.

REVÊTEMENTS DES SOLS A L'INTÉRIEUR DES BATIMENTS

402. Carrelages en terre cuite. — Autrefois toutes les habitations étaient carrelées. Ce n'est qu'à une époque re-

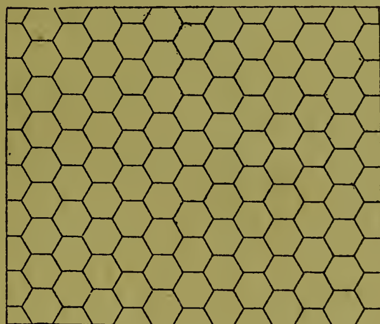


Fig. 712.

lativement récente que l'on a remplacé le carrelage par le plancher en bois dans les pièces principales de nos demeures. Si dans beaucoup de localités le carrelage est encore presque généralement adopté, dans les villes on le réserve pour les pièces d'importance secondaire, les communs, les cuisines, les pièces de fatigue ou qui risquent d'avoir leur sol taché ou mouillé.

Les carreaux les plus ordinaires sont en terre cuite ; ils sont carrés ou hexagonaux, et leur épaisseur varie avec les dimensions de leur surface. Les moules ordinaires sont :

Carrés de 0,20 à 0,22 de largeur.	0,027 à 0,032	d'épaisseur.
Carrés de 0,16 de largeur. . . .	0,018 à 0,025	—
Hexagonaux de 0,22 de largeur.	0,027 à 0,035	—
Hexagonaux de 0,16 de largeur.	0,018 à 0,027	—

On en établit dans toutes les briqueteries, et l'on choisit pour leur fabrication les terres qui sont à la fois d'un grain fin et d'une plus grande dureté après cuisson.

On en fabrique dans tous les environs de Paris, mais les meilleures marques viennent de Massy, Fresnes, et surtout de Beauvais et de la Bourgogne.

On les fait poser quelquefois par les ouvriers maçons, mais il est préférable d'employer à ce travail des ouvriers spécialistes, appelés *carreleurs*, qui sont très habiles et donnent des surfaces d'une grande perfection.

Dans les étages des maisons d'habitation ou d'exploitation, lorsque le pays le comporte, on les pose au plâtre. Dans les rez-de-chaussées ou dans les pièces dont le sol est sujet à l'humidité, il vaut mieux les poser au mortier de chaux ou de ciment.

Pose au plâtre. — Sur l'aire solide du plancher on étale régulièrement une couche de plâtras en poudre fine tamisée, que l'on nomme la forme ; on la règle et on la bat de manière à obtenir une surface bien horizontale et suffisamment résistante. C'est sur cette surface que l'on pose les carreaux, d'abord à sec pour faire un choix et un calibrage, puis en les reprenant un à un et les scellant avec un coulis de plâtre fin. Avec une règle et des repères on s'assure du niveau. Les joints doivent être aussi fins que possible et bien remplis.

Pose au mortier. — Sur l'aire solide on étend une forme en sable ou en béton maigre, et on règle la surface par un enduit de mortier de 0.01 d'épaisseur. C'est sur ce mortier que l'on pose les carreaux en les scellant avec un mortier clair de ciment pur. On prend quelquefois la précaution, pour bien remplir tous les joints encore vides, de verser un coulis clair sur la surface de carrelage que l'on vient d'achever, d'en pro-

mener l'excédant sur toute la surface, puis d'enlever ce qui reste, enfin de verser de la sciure de bois et de frotter tous les carreaux vivement ; la sciure absorbe le ciment avant sa prise et le carrelage est ainsi livré parfaitement propre.

Parmi les carrelages en terre cuite, il faut citer les carreaux hexagonaux minces que l'on fabrique à Marseille sous le nom de *tomettes*, avec une terre excessivement lisse et fine. Ils donnent une surface très remarquable dont le seul défaut est le peu de résistance aux chocs.

Tous les carrelages en terre cuite ne sont pas nécessairement rouges. Dans un certain nombre de localités, on fabrique des carreaux blancs qui peuvent en se mêlant aux rouges produire des dessins décoratifs. On les colore également en noir.

On peut aussi établir une bordure de carreaux carrés autour de la pièce et remplir le milieu avec des carreaux hexagonaux, de nuance uniforme, ou bien de couleurs différentes.

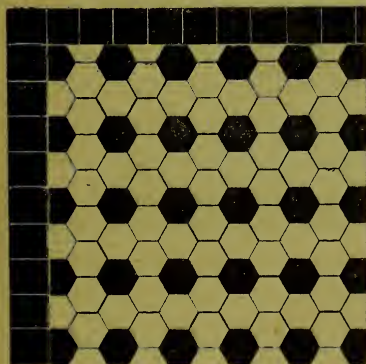


Fig. 713.

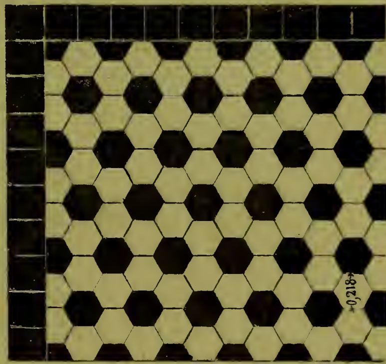


Fig. 714.

On obtient ainsi des dispositions représentées dans les figures 713 et 714, et dont on peut, du reste, varier beaucoup les arrangements.

403. Carrelages en grès cérame. — Depuis quelque temps, on emploie comme carrelages une matière beaucoup plus dure, le *grès cérame*, qui présente une bien grande résistance à l'user. La cuisson est poussée à une température beaucoup plus élevée que pour les terres précédentes. On en fait des blancs,

des noirs, des rouges, on peut aussi incorporer à la masse des couleurs fines disposées en dessins variés. Leur prix est plus élevé et ils sont considérés comme carrelages de luxe. On les pose généralement en mortier de ciment sur béton préalable constituant une forme solide et bien dressée. On les accompagne souvent de bordures au pourtour des pièces, lorsque le plan est régulier et que les angles sont droits. Ces bordures sont plus ou moins larges, plus ou moins ornées suivant les pièces ; elles sont presque toujours d'un ton plus foncé que le fond. On peut tirer l'effet à produire soit d'un arrangement de carreaux unicolores, soit d'une ou plusieurs lignes de pièces ornées de dessins.

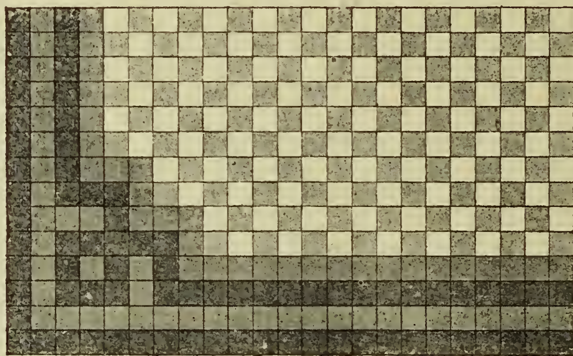


Fig. 715.

Lorsqu'on a à faire des tranches dans ces carreaux, on emploie un burin très fin sur lequel on frappe avec un marteau en appuyant le tranchant sur la ligne de rupture ; en agissant à petits coups, on obtient des coupes très droites et très exactes, par suite de l'homogénéité de la matière.

Les figures 715 et 716 représentent des carrelages ornés exécutés en grès cérame.

Dans la fig. 715, presque tous les carreaux sont de teinte uniforme, et c'est de leur arrangement qu'est tiré leur effet de décoration. Dans la fig. 716, les carreaux possèdent chacun un dessin spécial de plusieurs couleurs juxtaposées. Dans les uns comme dans les autres, la pâte colorée existe sur une

épaisseur de deux à trois millimètres pour prévoir l'usure et assurer une longue durée au carrelage.



Fig. 716.

401. Carrelages en chaux et ciments comprimés. — On a fait également des carrelages soit unis, soit ornés de dessins avec des mortiers moulés de chaux ou ciments, mélangés de très peu d'eau et comprimés à la presse hydraulique sous une très forte pression. L'effet de rapprochement des molécules produit par cette compression est d'une grande importance pour le bon usage de ces carrelages.

Les premiers carreaux ainsi fabriqués étaient poreux, avaient leurs arêtes peu solides et se tachaient très facilement. Depuis qu'on y a mêlé des ciments et que l'on a augmenté la pression, on obtient des produits plus solides et de résistance convenable.

On en fabrique de cette manière présentant des dessins très variés et même fort compliqués, et on arrive à les livrer meilleur marché que les carreaux analogues en grès cérames. Mais ils sont moins durs et moins résistants que ces derniers. La variété de coloration est aussi plus limitée.

Les fig. 717 et 718 donnent des dessins ainsi ménagés dans la pâte du mortier sur un à deux millimètres de profondeur.

La coloration elle-même peut être très variable ; on y trouve

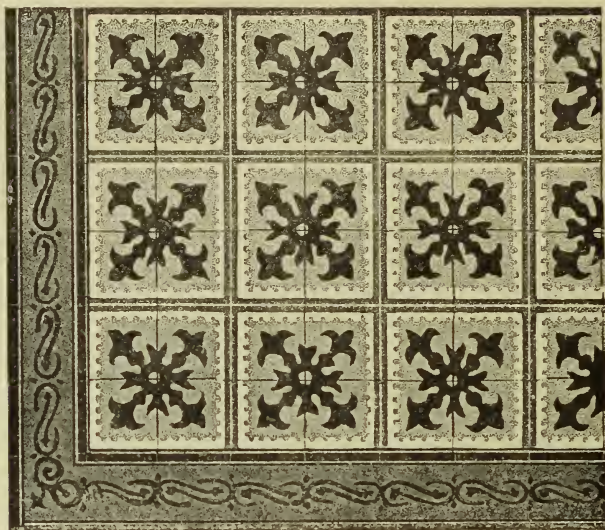


Fig. 717.

tous les tons des ocres, des blancs jaunâtres, jusqu'à des bleus, et cela de plusieurs catégories.

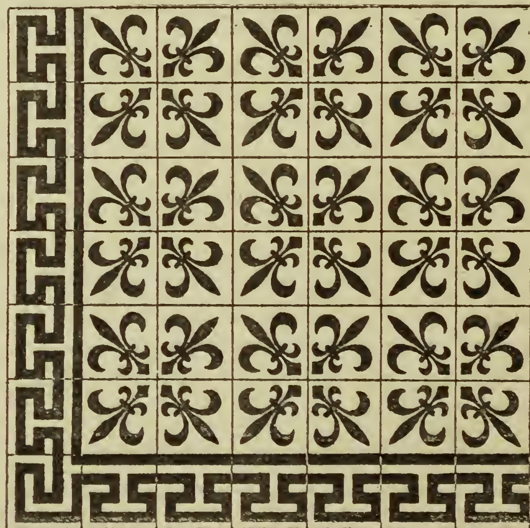


Fig. 718.

405. Carrelages en pierres naturelles. — On fait encore quelquefois des carrelages en pierres naturelles, notamment en liais et en marbre, quoique, en raison de leur prix élevé, on leur préfère souvent les grès cérames ou les ciments.

Longtemps on a employé dans les vestibules et salles à manger la disposition figurée sous le n° 719 et formée d'octogones en liais et de petits carreaux en marbre noir à leurs angles de rencontre.

Le liais employé était celui de la plaine ou de Conflans, ou encore celui de Tonnerre, ou enfin de la pierre lithographique. Le marbre noir venait de Belgique ou du Nord. Très souvent le semis régulier était étendu sur toute la surface de la pièce; d'autres fois, on faisait, le long des murs, une bordure simple ou double en marbre noir. Le carrelage en liais et marbre noir peut encore être fait de carreaux carrés et affecter un dessin dans le genre de celui de la fig. 720.

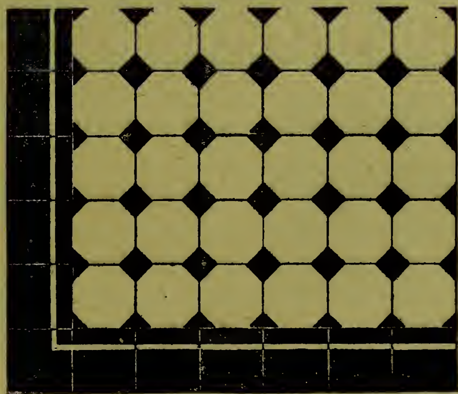


Fig. 719.

On peut se contenter de liais sans marbre noir, les carreaux étant de même tous disposés comme le dessin de la même figure, avec bande au pourtour, également unicolore.

Enfin, lorsque l'on établit des carrelages tout en marbres blanc et de couleur mélangés, on peut adopter une foule de

dessins différents. Parmi ceux qu'on emploie le plus généralement, on distingue celui de la fig. 721, très simple et néanmoins dans la plupart des cas suffisamment décoratif, lorsque la qualité des marbres est bien appropriée. On l'emploie soit en semis uni, soit avec bordure au pourtour de la pièce.

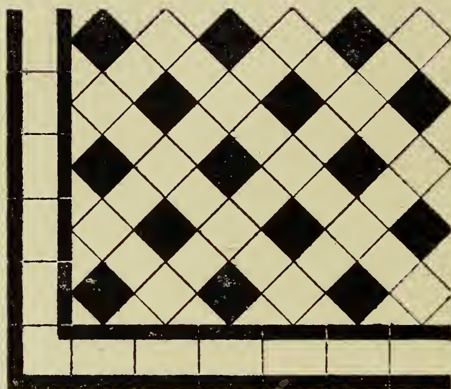


Fig. 720.

Les carreaux sont alternativement clairs et foncés. On leur donne environ 0 m. 20 de côté et 0.010 à 0.015 d'épaisseur.



Fig. 721.

Dans ces carrelages, il faut éviter les marbres qui ne sont pas absolument homogènes, et dont les fils et défauts ne tarderaient pas à s'accentuer par des cassures désagréables.

406. Dallages en ciment à l'intérieur. — Dans beaucoup de magasins, d'ateliers et de pièces d'usage commun, on a de l'économie à choisir comme sols des enduits de ciment à prise lente. D'ordinaire, on établit les planchers pour les recevoir et les hourdis sont alors exécutés en petits matériaux, meulières ou briques, avec mortier de ciment à prise rapide. On arase de suite le hourdis à quelques centimètres en des-

sous du sol futur, laissant seulement la place de l'enduit de dallage.

Il est bon de ne pas recouvrir du mortier du hourdis la face supérieure des petits matériaux pour que la couche de dallage puisse s'y accrocher directement. Cela vaut mieux que de superposer les deux ciments d'une façon immédiate.

La couche définitive s'établit comme celle des dallages extérieurs, en ayant soin de ménager les pentes nécessaires à l'écoulement des eaux s'il y a lieu.

Lorsque l'application du ciment doit se faire sur un plancher déjà exécuté et qui laisse une épaisseur plus considérable que celle que doit avoir l'enduit, on fait une fondation préalable en béton maigre de gravillon et on procède comme on l'a vu pour les travaux à l'air.

On termine par un lissage complet, et quand il en est besoin par un quadrillage.

On fait souvent en ciment les dallages des caves auxqnelles on veut donner une propreté exceptionnelle.

On emploie aussi avec économie, pour le dallage des grandes surfaces, les principes de la confection des bétons Coignet : le ciment précédent étant remplacé par un mélange de chaux et de ciment ; la régularité de la fabrication mécanique restitue la solidité que l'addition de chaux semblerait devoir enlever.

407. Aires d'ateliers en mastics d'asphalte. — Dans beaucoup d'ateliers, on emploie avec avantage le mastic d'asphalte fondu pour former les aires horizontales des planchers. On établit ces enduits sur un béton recouvert d'une chape bien dressée, et on a soin avant l'application de bien laisser sécher cette maçonnerie.

Lorsque les ateliers sont exposés à une température relativement élevée, on diminue la proportion de bitume libre, pour éviter qu'il n'y ait ramollissement de l'asphalte.

L'épaisseur généralement adoptée pour les intérieurs, lorsqu'ils doivent servir d'ateliers ou de magasins peu fatigués, est de 0,015. Lorsqu'ils doivent supporter les manutentions

de tonneaux ou de caisses de marchandises lourdes, on porte l'épaisseur à 0,018, ou mieux on superpose deux couches de 0,012 à 0,015 d'épaisseur chacune en croisant les bandes pour avoir plus d'homogénéité.

On emploie souvent les dallages en mastic d'asphalte dans les sous-sols et les caves ; le mode d'application ne varie pas.

Dans quelques applications de ces dallages, on produit, à l'aide de moules convenablement dessinés, des quadrillages pour orner la surface ou la rendre moins glissante. On applique ces plaques gauffrées sur l'enduit pendant qu'il est encore chaud, et on frappe dessus pour obtenir les faux joints qui forment les diverses lignes du dessin.

408. Aires en plâtre ou en salpêtre. — Autrefois, dans les greniers et les bâtiments ruraux, on employait beaucoup ce que l'on appelle les aires en plâtre. On les établissait sur bardeaux jointifs posés sur les solives en bois, en leur donnant 0,05 environ d'épaisseur. Le bon marché de ce produit le faisait employer partout où l'on n'avait besoin que d'une faible résistance. Le plâtre, en effet, constitue un sol assez mauvais qui se laisse rayer et entamer par les corps les plus tendres. On le remplace souvent aujourd'hui dans les greniers par un parquet en planches de rebut qui donne un meilleur résultat.

Dans certains ateliers couverts, comme les hangars de charpentier, on fait le sol avec des plâtras salpêtrés que l'on réduit en poussière, et que l'on bat fortement après les avoir légèrement humectés. Il en résulte une surface suffisamment solide pour les services qu'on lui demande, que l'on nomme une aire en salpêtre. Dans cette application, elle se prête très simplement au tracé des épures, les traits étant obtenus par une simple rayure produite par l'outil de traçage du charpentier, la rainette.

Autrefois, on étendait l'application des aires en salpêtre aux remises, celliers, bâtiments d'exploitation rurale ; on la restreint maintenant et on la remplace par des dallages plus résistants.

409. Dallages en mosaïque. — On fait quelquefois dans les grandes salles, les galeries, vestibules, etc., un dallage particulier qui porte le nom de mosaïque. Il consiste à former la surface résistante de cubes de marbre de 0,01 à 0,04 de côté enchâssés dans du mortier sur un béton général bien établi, placés régulièrement les uns à côté des autres. On en fait aussi des semis irréguliers formant fonds.

Le mortier employé est ordinairement de la chaux grasse, qui permet, par une prise lente, de parachever le travail dans le temps voulu et de faire les rectifications nécessaires. On améliorerait notablement la qualité du travail sans perdre cette propriété en mélangeant à la chaux grasse un tiers ou un quart de ciment à prise lente.

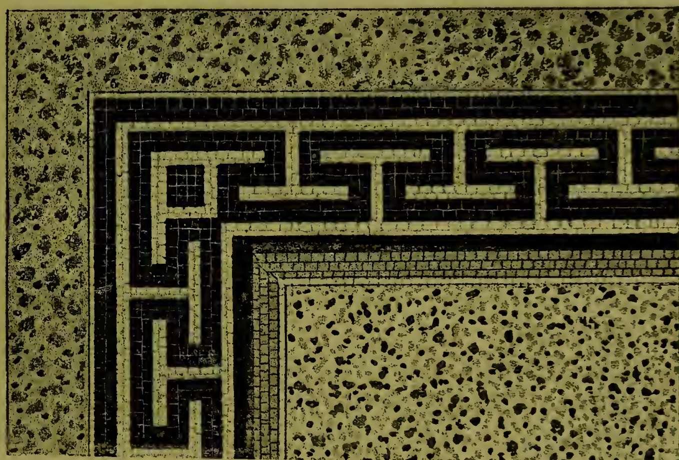


Fig. 722.

Les figures 722 et 723 représentent deux exemples de carrelages mosaïques des types les plus employés. Dans le premier, la bordure d'encadrement seule est formée de cubes bien rangés les uns à côté des autres, suivant un dessin régulier, le reste est formé d'un semis irrégulier de marbres concassés enchâssés au hasard dans une couche de mortier.

Le second exemple est au contraire d'un prix plus élevé et

d'un travail plus fini ; il est composé de cubes bien rangés sur toute la surface, dans les fonds aussi bien que dans les dessins. On le réserve pour des pièces plus luxueuses.

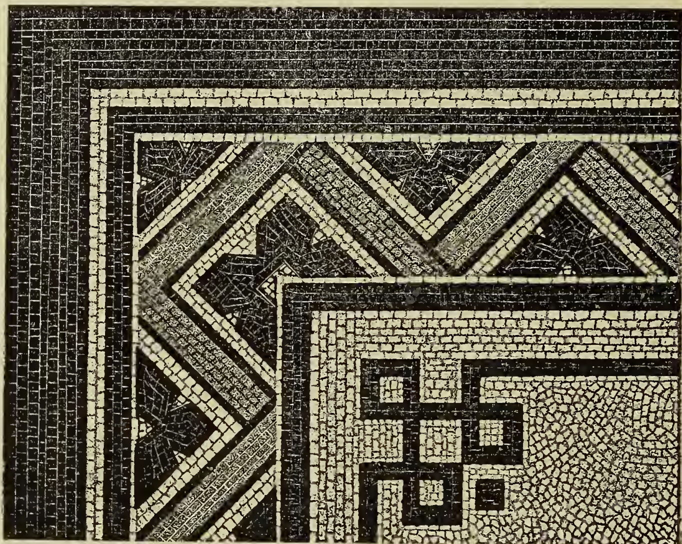


Fig. 723.

La manière dont on exécute ces mosaïques mérite une courte description. On établit sur le papier et en grandeur d'exécution le dessin de la mosaïque ; chaque trait est passé à une roulette qui détermine dans tout son contour une série de trous équidistants de 0,001 environ de diamètre. On divise ce patron en panneaux que l'on vient appliquer sur l'enduit préalablement dressé, et on passe dessus une éponge sèche remplie d'une poussière colorée qui passe en partie par les trous du papier et reproduit le dessin sur l'enduit encore frais. Les mosaïstes prennent ensuite les cubes de marbre de couleurs appropriées, les rangent d'après le dessin qui sert de guide et les enfoncent au marteau dans la surface de l'enduit. Lorsque tout le sol est ainsi garni, ils régularisent les marbres en comprimant la surface de l'ouvrage avec un lourd rouleau en fonte qui donne un enfoncement régulier et fait refluer le mortier

dans les joints qui se trouvent ainsi remplis. Puis, lorsque la masse est durcie, ils passent le tout au grès pour avoir un dressage régulier; enfin, ils polissent le dallage comme un marbre ordinaire.

Les mosaïques plus communes, comme celle de la fig. 722, se font de même pour le dessin, et le fond est obtenu plus vivement en versant à même la surface du mortier la quantité voulue de morceaux de marbres cassés irrégulièrement, qu'on égalise à la main et que l'on passe de suite au rouleau jusqu'à scellement complet.

Quelquefois, on fait des revêtements décoratifs de mosaïques sur des faces verticales, soit qu'on emploie des marbres, soit qu'on les remplace par des émaux sur verre. Le procédé d'application est un peu différent. On prend un mortier meilleur, durcissant plus rapidement, mais se tenant mieux dans la position verticale. On a préalablement dessiné les contours du dessin sur un papier en grandeur d'exécution et sur les panneaux de ce papier on a étendu de la colle et rangé les cubes, la face devant être vue appliquée sur le patron. On présente ensuite chacun de ces panneaux sur l'enduit, papier en dehors, on l'ajuste à la place qui lui convient, et au moyen d'une sorte de batte en bois on fait pénétrer à la fois tous les cubes sur la surface à recouvrir. On égalise bien le tout, et on laisse prendre le mortier. Il ne reste plus qu'à laver à grande eau pour enlever papier et colle et montrer le parement de la mosaïque terminée.

410. Planchers translucides. Dalles en verre fondu. — Depuis une quinzaine d'années, on étend beaucoup l'emploi du carrelage en verre fondu dans les salles de divers genres, pour éclairer les étages inférieurs. On trouve ainsi l'utilisation de certains locaux qui, sans ce moyen, seraient obscurs, et la tentative réussit toutes les fois que la salle supérieure est éclairée directement par un comble vitré.

On étudie la composition du plancher en fer, de telle sorte qu'il présente à la partie supérieure une série d'alvéoles contiguës de forme carrée, de 0 m. 30 à 0 m. 40 de côté.

Chaque alvéole reçoit une dalle en verre que l'on pose sur

CHAPITRE X

ROCHES NATURELLES

SOMMAIRE :

411. Des matériaux de construction. — 412. Sables et cailloux. — 413. Caractères et propriétés des roches employées comme pierres à bâtir : homogénéité, densité, dureté, résistance au choc, flexibilité, conductibilité pour la chaleur, dilatation. Eau de carrière, action du froid. — 414. Résistance des pierres à l'écrasement. Tableau. — 415. Roches granitiques : granites, gneiss, mica-schistes, syénites. — 416. Roches porphyriques. — 417. Roches volcaniques : laves, trachytes, basaltes. — 418. Roches siliceuses de sédiment : grès, grauwacke, grès houillier, grès des Vosges et grès bigarré, molasse, quartzite, silex et meulière, gaize. — 419. Roches argileuses. — 420. Roches calcaires : calcaires oolitiques, calcaires à entroques, travertins, calcaire grossier (lambourdes, vergelés, banc royal, banc franc, banc de roche ; liais ; cliquarts ; liais durs ; liais demi durs, roches dures ; roches demi dures ; roches douces ; banc franc dur de l'Aisne, de la Vienne, de Seine-et-Oise et de l'Yonne ; bancs royals durs de Seine-et-Oise, Yonne, Vienne ; bancs royals tendres de Seine-et-Oise, Oise, Aisne, Nièvre ; vergelés de Seine-et-Oise, Oise, Aisne). — Calcaire terreux (craie blanche ; craie, tufeau ; calcaire bitumineux : Seyssel, Givet, Soignies). — Marbres : simples, brèches, marbres composés, lumachelles, albâtres.

CHAPITRE X

ROCHES NATURELLES

411. Des matériaux de construction. — Les matériaux de construction employés dans la maçonnerie se tirent du sol comme on l'a vu. On les extrait des gisements que les géologues désignent d'une façon générale sous le nom de roches, sans avoir égard à leur cohésion ou à leur résistance.

Les uns s'emploient dans les constructions tels qu'on les obtient de la carrière, sans autre opération qu'un mélange direct avec d'autres matériaux, avec ou sans une taille qui approprie leur forme extérieure. Ce sont les matériaux naturels.

Les autres ont besoin d'être transformés par des combinaisons chimiques, déterminées par l'action de la chaleur, ou le contact d'autres matières. On leur donne le nom de matériaux artificiels.

Parmi les matériaux de la première série se trouvent les sables et cailloux, les pierres de toutes sortes. Dans la seconde on comprend les chaux et ciments, le plâtre, les produits céramiques.

412. Sables et cailloux. — A ce que nous avons dit sur les sables et les cailloux dans notre premier volume, nous avons peu de chose à ajouter.

Les sables quartzeux proviennent de la désagrégation des roches ignées; les grains sont arrondis ou anguleux. On y rencontre quelquefois du mica en points brillants venant des granits comme dans le sable de Fontainebleau. Purs, ils sont très blancs, mais on les trouve rarement de cette couleur; ils sont souvent jaunis par de l'argile ou de l'oxyde de fer.

Le sable se trouve en couches souvent très considérables, soit dans le sol (c'est le sable dit de *plaine*, de *mine*, ou de *carrière*), soit dans les alluvions des cours d'eau (c'est le *sable de rivière*), soit au bord de la mer où il compose des plages d'étendue souvent fort grande (c'est le *sable de mer*).

Le sable à grains uniformes et très fins s'appelle du *sablon*. Lorsque les grains ne dépassent pas 0 m. 001 de grosseur, le sable est dit *fin* ; de 0 m. 001 à 0 m. 005, il est dit *gros*; au-delà c'est du *gravier*. Le gros gravier est le *caillou*. Dans bien des gisements les diverses sortes sont mélangées ; on les sépare par le criblage.

Presque toujours les grains sont arrondis, cependant cette forme ne se rencontre pas d'une façon exclusive.

Certains calcaires donnent aussi par leur désagrégation naturelle des sables qui ont leur composition ; ces sables calcaires sont moins résistants et d'un emploi moins convenable pour la maçonnerie.

Les alluvions des rivières contiennent souvent des sables mélangés quartzeux et calcaire. Si l'on prend 100 grammes de sable de Seine, et qu'on le lave à l'eau, il ne restera plus après séchage que 90 grammes. Si on soumet ce résidu à l'action de l'acide chlorhydrique, qui dissout le calcaire, le produit lavé et séché se réduit à 78 grammes.

Il en résulte que le sable de Seine renferme :

10 0/0 d'argile et matières étrangères ;

12 0/0 de calcaire ;

78 0/0 de sable siliceux.

En maçonnerie, les sables et les graviers servent surtout à la fabrication des mortiers; pour cet usage ils doivent être aussi purs que possible et contenir peu d'argile. Ceux des rivières sont plus purs, étant lavés par l'extraction à la drague.

Le sable de mer contient des sels déliquescents qui nuiraient dans nombre de constructions, et dont on le débarrasse difficilement. Pour les travaux de quais, de ponts et analogues, le sel ne gêne pas et on peut employer cette sorte de sable, de même qu'on emploie souvent l'eau de mer pour le gâchage du mortier de ciment dans ces mêmes travaux.

On a vu que la principale propriété du sable est d'être incompressible dans certaines conditions. Il faut qu'il ait été fortement arrosé et pilonné. C'est cette propriété qui le fait employer pour le pavage et pour la fabrication des mortiers.

Les sables blancs sont employés dans la fabrication du verre. Les sables un peu argileux de Fontenay-aux-Roses servent pour le moulage des métaux.

Les graviers et cailloux sont utilisés pour les bétons et pour cet usage ils ont besoin d'être très bien nettoyés et lavés. Ils servent aussi pour l'empierrement des chaussées ou comme ballast des voies ferrées.

Dans certains grands travaux en pays de montagnes, là où le transport du sable devient très onéreux, on a souvent avantage à le produire artificiellement en broyant des roches quartzeuses, au moyen d'engins spéciaux mus par machines à vapeur. Mais l'expérience apprend qu'il y a lieu de choisir les roches, certaines d'entre elles, quoique qualzeuses, donnant des sables inférieurs.

413. Caractères et propriétés des roches employées comme pierres à bâtir. — Les pierres à bâtir se choisissent parmi les roches naturelles qui présentent une *cohérence* suffisante au point de vue de la résistance. Cette cohérence est la première propriété qu'on leur demande. Pour déterminer les services qu'on peut attendre de ces matériaux solides dans les constructions, il faut pour chacun d'eux étudier la *structure* qui montre le mode de groupement des parties constituantes, et qui peut être indéterminée, ou schisteuse, etc. L'*homogénéité* est une des grandes qualités des pierres à bâtir, celle qui est la plus recherchée dans la construction ; elle permet de compter sur une régularité correspondante dans la résistance.

L'absence d'homogénéité se constate dans les pierres calcaires par les défauts suivants : les *fils* sont des fissures remplies d'une matière étrangère plus dure ou plus tendre que la masse ; on rencontre dans la pierre de Méry, par exemple, de ces *fils* de l'épaisseur d'une feuille de papier, et qui sont remplis d'argile ; à peine visibles à la pose, ils prennent à la longue l'humidité et la pierre se sépare après l'emploi. — Les *moies* sont

des vides de la roche dont la cavité est souvent remplie de matières étrangères. La pierre calcaire de Château-Landon, celle de Belvoye en renferme souvent. — Le *bousin* dans les calcaires de sédiment est une partie très tendre qui se trouve interposée entre les lits de carrière. Les pierres auxquelles il reste adhérent doivent en être purgées avec soin en raison de son peu de consistance et de sa résistance nulle aux agents extérieures. — Les *cendres*, *terrasses* ou *pouffes* sont également des parties de roches peu cohérantes qui s'égrenent à l'humidité ou sous le choc de l'outil. — Les *clous* sont des rognons très durs incorporés dans la pierre où ils se trouvent disséminés. Ils rendent le débit de la pierre difficile, ainsi que le polissage, et donnent des parements dont l'usure est irrégulière. — Des *fissures* souvent très fines limitent en carrière les dimensions des blocs et se rencontrent dans presque tous les gisements, de telle sorte que les pierres de grandes dimensions sont souvent difficiles à obtenir. Rarement on obtient des morceaux de plus de 5 à 6 mètres cubes dans les carrières de pierres calcaires, et les blocs de 8 à 10 mètres de longueur sont très rares. Dans les gisements de granit on peut avoir des pièces plus grandes ; on cite par exemple le soubassement de la statue de Pierre-le-Grand, à Saint-Pétersbourg, qui cubait à l'état brut environ 600 mètres cubes.

La *densité* est une des propriétés qui distinguent les diverses pierres. Il y en a de très légères comme les pierres ponces, qui pèsent au mètre cube compact environ 600 kilogrammes. Certaines roches ignées comme les basaltes pèsent 2800 à 2900 kilogrammes. Quant aux pierres calcaires, leur densité est ordinairement proportionnelle à leur dureté. Les roches tendres pèsent de 1500 à 1800 kilogrammes. Les roches demi-dures vont de 1800 à 2100 kilogrammes, et les roches dures de 2100 à 2700.

La *dureté* est importante à considérer dans les constructions, au point de vue de la durée des parois, et aussi de la facilité de la taille : la craie et les pierres très tendres sont rayées par l'ongle, d'autres ne sont rayées que par le cuivre, d'autres enfin exigent l'acier. Les pierres tendres se débitent à la scie à dents très rapidement et cette taille est économi-

que, tandis que les pierres dures exigent l'emploi lent et patient d'une lame de scie unie agissant avec du grès et de l'eau pour faire péniblement le trait qui doit les séparer.

La résistance au choc est souvent utile à considérer ; certaines pierres comme les silex sont très fragiles, tout en étant très dures. Certains calcaires argileux quoique plus tendres sont plus résistants aux efforts brusques.

Flexibilité. La flexibilité est une conséquence de l'élasticité des pierres, mais elle est la plupart du temps peu apparente. Elle devient évidente dans les plaques minces que l'on débite à la scie dans les blocs de marbre ; dans les schistes ardoisiers débités en feuillets minces et longs ; dans les maçonneries exécutées en pierres et dont les dimensions transversales sont faibles comparées à la longueur. Les colonnes du Panthéon, avant de recevoir l'entablement qui les surmonte, oscillaient facilement de quelques centimètres sous le choc du pied seulement ; les hautes cheminées d'usines ont sous l'effort du vent une amplitude bien plus grande qui peut atteindre 0m.30 à 0m,50, et cette oscillation ne se produit convenablement que si elles sont bien verticales ; elle sert aux ouvriers qui les montent à contrôler leur ouvrage. L'élasticité d'une roche se décèle souvent par une grande sonorité sous le choc du marteau. On dit que telle pierre sonne bien, et cette sonorité n'est pas toujours en rapport avec la dureté ; certaines pierres tendres bien homogènes produisent au choc un son presque métallique très remarquable.

La *conductibilité pour la chaleur* est quelquefois utile à consulter. La formule donnée par Peclet pour représenter le nombre M de calories qui passent à travers une paroi d'épaisseur E, dont les surfaces opposées sont aux températures t et t', est la suivante :

$$M = (t - t')\frac{C}{E}$$

C est le coefficient de conductibilité ; il exprime le nombre de calories que laisserait passer la paroi si ses deux faces avaient un écart de température de 1° et si son épaisseur était de 1 mètre.

Pour le fer.	C = 28
Pour le calcaire à gros grains.	C = 1,30
Pour le calcaire compact . .	C = 1,70 à 3,50
Pour le sable quartzeux. . .	C = 0,27
Pour la craie en poudre. . .	C = 0,08
Pour les briques	C = 0,50
Pour le bois	C = 0,10.

Ce tableau montre que les constructions maçonnées ont au point de vue du refroidissement ou de l'échauffement une grande supériorité sur le métal pour former les matériaux de nos habitations. D'autre part les pierres sont moins avantageuses sous ce rapport que les briques ou le bois. Aussi ce dernier est-il très usité comme lambris de revêtement des maçonneries à l'intérieur des habitations édifiées dans les pays froids.

Le coefficient de *dilatation* paraît varier très légèrement ; il y a peu d'expériences à ce sujet. Dans l'intervalle de 0 à 100°, qui comprend les cas ordinaires de la pratique, on cite ceux

Du granit	0,000.008 par degrés
Du marbre noir	0,000.004
D'autres pierres calcaires.	0,000.006 à 0,000.010

Pour les ciments et mortiers ce cofficient est un peu faible ; sans cela on ne s'expliquerait pas comment du fer, noyé dans de la maçonnerie et exposé à l'extérieur à des températures variant de — 20 jusqu'à + 40, et souvent davantage à cause du rayonnement solaire ne désorganise pas ses hourdis, qui ne présententent aucune fissure soit à la vue soit aux infiltrations d'eau qui produiraient de la rouille.

L'action de la *chaleur d'un foyer* sur les pierres *étonne* les roches les plus résistantes, surtout quand le refroidissement est brusque ; la matière se fissure dans tous les sens et peut se débiter facilement en débris sous le choc du marteau.

Dans les chapitres suivants, il sera parlé en détail de l'action de la chaleur sur les roches calcaires, d'où naîtra la fabrication des chaux ou ciments et du plâtre, et de l'action toute

différente que l'élévation de température produit sur les argiles, action qui conduit à la fabrication des produits céramiques.

Les pierres que l'on extrait de la carrière sont généralement très humides ; cette humidité est ce qu'on appelle l'*eau de carrière*. Les roches ignées n'en contiennent qu'une quantité nulle ou très faible. Les roches de sédiment en ont davantage ; la proportion varie de 0,02 à 0,25 de leur poids.

L'exposition à l'air leur fait perdre une partie de cette eau, et en même temps leur donne de la dureté. Beaucoup de calcaires se taillent au couteau à la carrière, et exigent après quelque temps de dessiccation des outils plus sérieux ; bien des pierres employées dans nos constructions durcissent ainsi en séchant, surtout à la surface et il s'y forme une sorte de patine très résistante qui protège le reste de la pierre. Si on enlève ultérieurement cette surface on trouve un nouveau parement plus tendre qui ne peut plus s'améliorer.

Le silex lui-même se taille très facilement lorsqu'il sort de son gisement ; l'homme préhistorique savait utiliser cette propriété pour fabriquer ses outils et ses armes. Le schiste ardoisier se refend facilement, au moment de son extraction, en feuillets très minces et souvent très étendus; desséché, sa fissilité disparaît, il devient compact et cassant. Pour toutes ces pierres, une humidification subséquente ne rend pas les propriétés perdues.

L'action du *froid* est pour les pierres la plus importante cause de destruction; on dit qu'une pierre est *gélive* lorsqu'elle se dégrade sous l'effet de la gelée. Tantôt cet effet se traduit par un fendillement, une division en feuillets parallèles, la pierre se *délite* ; tantôt elle se corrode et sa paroi se sépare en poussière farineuse ; tantôt enfin la destruction est inégale et il se forme sur le parement des dessins irréguliers, des sortes de vermiculures.

Bien des pierres ne sont gélives que tant qu'elles contiennent leur eau de carrière ; on ne doit les exploiter que jusqu'à une époque de l'année telle, qu'elles soient complètement sèches avant l'hiver. Plus tard, même humides, elles résisteront au froid.

D'autres sont gélives toutes les fois qu'humides elles sont soumises à un refroidissement, à température de congélation. Non seulement il faut les extraire en bonne saison, mais encore les mettre pour toujours à l'abri de l'humidité. Nous avons indiqué, au n° 17 du tome premier, le procédé Brard pour reconnaître la gélivité au moyen du sulfate de soude, mais les résultats de ces essais sont souvent incertains. Le mieux est, quand on le peut, d'exposer l'échantillon à l'extérieur, sur le sol, pendant l'hiver ; ou encore de le soumettre à des froids artificiels produits par un mélange de glace et de sel qui donne facilement une température de 10 degrés au-dessous de zéro. Ce procédé direct est assez simple maintenant que partout et en toute saison on peut se procurer de la glace.

Les pierres à bâtir sont diversement colorées, et cette *couleur* est un élément de décoration important dans la construction. Les roches primitives sont tantôt grises, tantôt bleuâtres, presque toujours d'un ton foncé ; il en est ainsi pour les granits ; cependant certains d'entre eux sont de couleur rose et très décoratifs. Les calcaires sont blancs, jaunes ou gris pour la plupart. Les marbres font exception et présentent les couleurs les plus variées d'une carrière à l'autre, et souvent dans un mêment gisement.

La coloration sert souvent à apprécier la qualité des matériaux. Certaines argiles, certains schistes ont en effet des propriétés qui varient avec leur aspect extérieur.

424. Résistance des pierres à l'écrasement. — La résistance à l'écrasement est un des renseignements les plus importants à connaître pour tous les matériaux que le constructeur emploie. Toujours il faut se rendre compte de la charge à porter en chacun des points des édifices, de la section disponible des supports, de la charge par centimètre carré qui en résulte, et enfin de la nature de pierre qui donne cette résistance en toute sécurité.

La résistance de sécurité se déduit de la résistance à la rupture ; on la prend en général égale au dixième de cette dernière. On a donc besoin de faire des essais pour déterminer la

charge qui, par centimètre carré de section, produit la rupture de la pierre.

On opère sur des échantillons cubiques bien taillés auxquels on donne quatre à cinq centimètres de côté pour les pierres dures, et cinq à six pour les pierres tendres. L'expérience montre que les cubes d'une même pierre résistent proportionnellement à leur section.

M. Michelot a fait de nombreux essais pour déterminer cette résistance sur les matériaux de construction employés en France. L'appareil dont il s'est servi consistait dans un grand levier de $5^{m}00$ de longueur, fixé à une colonne en fonte par l'une de ses extrémités au moyen d'une articulation faite d'un couteau de balance renversé. A une petite distance il appuyait par un second couteau sur le bloc à essayer par l'intermédiaire d'une masse en fonte chargée de répartir uniformément la pression.

Le restant du levier était libre, et pouvait être soutenu à volonté par un support à manivelle. Il portait deux plateaux, l'un fixe, l'autre suspendu à un curseur, et on pouvait faire varier la position de ce dernier au moyen d'une corde sans fin, mue par une manivelle, de manière à augmenter l'effort sans secousse et d'une façon continue.

De la valeur des poids fixes du premier plateau, de la position du poids mobile et du rapport des bras de levier, on déduit la pression totale s'exerçant sur l'échantillon au moment même de la rupture, et par suite la pression par unité de surface; et, en prenant le dixième de ce dernier chiffre, on a la charge par unité de section qu'on est convenu de considérer en pratique comme donnant toute sécurité.

Cet appareil convient à un laboratoire d'études disposé spécialement pour ce genre d'essais; mais il exige trop d'espace dans les circonstances ordinaires de la pratique. On a avantage dans bien des cas à le remplacer par une presse hydraulique. Le plateau de la presse reçoit le bloc; un balancier avec vis placé au-dessus et retenu par un bâti solide porte un plateau mobile qui vient se poser sur le bloc bien normalement à sa surface supérieure; quand l'expérience est ainsi préparée, on actionne à la main la pompe de la presse pour augmenter gra-

duellement la pression dont un manomètre, avec index donnant le maximum, indique l'intensité. On arrête la pression dès que la rupture se produit.

De la section du piston et de la pression manométrique on déduit de suite l'effort qui a déterminé la rupture du bloc, et par suite l'effort correspondant à un centimètre carré de section. Les indications données par cette disposition sont moins précises que celles que peut offrir l'appareil précédent, mais la manœuvre est bien plus commode et l'on s'en contente dans les cas les plus ordinaires.

Cet appareil a été beaucoup perfectionné et rendu très précis et facile à consulter dans la pratique, et dans nombre de chantiers importants il serait utile de se le procurer pour permettre le contrôle constant de la résistance des matériaux employés.

On peut résumer de la façon générale suivante la résistance des différents matériaux de maçonnerie (charge de rupture par centimètre carré) :

Basaltes, porphyres. . .	1800 à 2400 kgs.
Granit	500 à 1500
Marbres compacts . . .	700 à 1200
Marbres statuaires . . .	500 à 700
Trachytes, laves. . . .	300 à 900
Grès durs	350 à 800
Grès demi-durs ou tendres.	80 à 350
Calcaire compact dur . .	220 à 1000
Calcaire tendre	20 à 220
Briques dures bien cuites .	120 à 150
Briques ordinaires . . .	50 à 60

M. Nivoit, dans sa Géologie appliquée, à laquelle ce tableau est emprunté, en déduit les remarques suivantes : c'est parmi les roches éruptives, basaltes, porphyres, granits, que l'on trouve la plus grande résistance. Cette dernière semble suivre la densité, la compacité et la dureté. A poids égal, les porphyres sont plus résistants que les granits, les grès que les calcaires.

Les variations de structure, de qualité et de résistance sont

souvent fort grandes dans un même gisement de pierre, et même aussi dans une même carrière suivant les morceaux ; c'est ce qui rend très utile dans un grand chantier l'établissement d'un service constant d'essais à la rupture, pour contrôler la régularité de la fourniture.

Pour certaines natures de roches, la résistance n'est pas la même en tous sens ; il y a une direction suivant laquelle il est avantageux d'appliquer les efforts. Pour les roches sédimentaires, la résistance la plus grande a lieu lorsqu'elles sont posées sur leur lit de carrière ; c'est aussi la position qui leur convient le mieux pour s'opposer à la corrosion due aux agents atmosphériques.

Les pierres compactes, lourdes et homogènes présentent la même résistance en tous sens et peuvent être placées en délit. Ceci s'applique aux roches ignées, et parmi les calcaires à ceux que nous avons appelés pierres froides.

L'action de l'humidité influe notablement sur la résistance de certains matériaux ; elle diminue celle des grès et surtout des calcaires tendres. Cette diminution peut être d'un tiers d'après les expériences de M. Michelot.

La résistance des pierres à l'extension n'est pas à comparer à leur résistance à la compression ; elle est bien plus faible. Mais les expériences sur ce sujet manquent, les seuls chiffres qui aient été publiés à ce sujet sont les suivants :

Les basaltes se rompent sous une traction de 77 kgs. par cm. carré ; les calcaires des environs de Paris de 5 à 15 kgs.

Après avoir ainsi énuméré les principales propriétés que peuvent d'une façon générale présenter les pierres à bâtir, nous allons passer en revue les plus importantes de ces pierres.

Nous commencerons par les roches d'origine ignée, qui d'après l'ouvrage de M. Nivoit se divisent en :

Roches granitiques
Roches porphyriques
Roches volcaniques.

125. Roches granitiques. — Le granit, type des roches granitiques, est composé de trois éléments : le quartz, le feldspath et le mica.

Le quartz y est presque toujours en fragments d'apparence vitreuse non cristalline, c'est de la silice. — Le feldspath se distingue en lamelles cristallines nacrées blanches d'ordinaire, quelquefois rouges, rarement vertes ou grises ; c'est un silicate d'alumine mélangée d'autres bases. — Le mica se présente sous forme de feuillets d'aspect métallique, soit blancs, soit noirs ; c'est un silicate double d'alumine et de potasse plus ou moins magnésien.

Les proportions de ces éléments sont très variables ; ordinairement il y a sur 100 parties, 40 de feldspath, 35 de quartz et 25 de mica.

La densité du granit varie de 2500 à 2750 kg. le m.c. Le plus lourd est le granit à grains fins et serrés ; c'est en même temps le plus résistant. Il s'écrase sous 1000 à 1500 kg. par c.m.c., tandis que le granit à gros grains s'écrase sous une charge variable de 500 kg. à 1000 kg.

Le granit est rangé parmi les matériaux les plus chers. Son extraction est difficile et la taille exige une façon considérable ; aussi est-il réservé soit pour les monuments soignés, soit pour les soubassements seuls de constructions plus ordinaires. L'abbaye du Mont Saint-Michel est entièrement construite en granit.

Dans les pays producteurs de granit, la Normandie, la Bretagne, le Limousin, les Vosges, principalement, on construit beaucoup en granit, et on l'emploie soit en gros blocs soit en moellons. A Paris on le fait venir à grands frais pour les dallages et les bordures de trottoirs. Il s'expédie pour cet usage surtout de Normandie et de Bretagne. Il y a lieu de faire un choix parmi les granits destinés aux constructions. Malgré sa résistance et sa fixité, il y a des exemples de décomposition lente aux intempéries ; le feldspath qu'il contient est le premier attaqué, il se transforme en kaolin. D'autres granits au contraire sont tout à fait inaltérables. Un exemple remarquable en est fourni par l'obélisque de Louqsor, fait d'un beau granit rose d'Egypte dans lequel une partie du mica est remplacée par de l'amphibole (silicate de chaux, de fer et de magnésie) ; malgré son antiquité ses hiéroglyphes sont intacts.

La Côte-d'Or, le Finistère, le centre de la France, les Alpes

et les Pyrénées fournissent de très beaux granits que l'on emploie dans les constructions de toutes sortes.

Souvent on soigne les parements au point de les polir comme le marbre; mais, à l'air, le poli du granit ne dure pas, et au bout de quelques mois la pierre présente l'apparence d'une surface simplement égrisée.

Les *gneiss* appartiennent à la même classe de matériaux ; leur composition se rapproche de celle du granit, mais le mica y est rassemblé en bandes ondulées. Ils se trouvent en gisements très considérables dans les terrains primitifs, et comme ils ne présentent pas la qualité décorative des matériaux précédents, ils sont surtout employés comme moellons dans les constructions. Ils sont très recherchés pour cet usage en raison de leur faculté de présenter à la taille deux sortes de clivages parallèles dont on fait les lits de pose.

Les *mica-schistes* sont des roches composées de quartz et de mica. Ils sont très abondants dans la nature et forment d'excellents moellons dans nombre de localités.

La *syénite*, qui doit son nom à des gisements remarquables près de Syène en Egypte, est une roche composée de feldspath et d'amphibole. Elle fournit de très beaux matériaux pour la construction de luxe. Elle se polit mieux que le granit. En France, il y en a quelques carrières importantes : à Fermanville (Manche), où la roche est de couleur rose, à Servance (Haute-Saône) où elle présente un ton rouge, à Remiremont dans les Vosges où sa teinte est feuille morte.

Les colonnes du vestibule de l'Opéra sont faites au syénite de Servance. Le soubassement de la colonne Vendôme en syénite d'Alcojola (Corse).

426. Roches porphyriques. — Les porphyres sont plus durs et plus compacts que les granits. Ils se présentent sous la forme d'une pâte pleine dans laquelle sont disséminés des cristaux, soit de quartz soit de feldspath. Ils sont très difficiles à travailler, et leur taille et leur poli reviennent à un prix fort élevé lorsqu'on les emploie dans la décoration. Ils sont fragiles et au choc on les taille grossièrement, ce qui les fait rechercher pour faire des pavages résistants ; mais ils donnent des voies

qui deviennent glissantes en prenant un poli superficiel par l'usage. On en fait aussi de très bons empierrements de chaussées macadamisées.

La porphyre rouge antique a fourni des obélisques et des vases de toute beauté venant d'Egypte. On en extrait encore à Servance d'une belle couleur verte, et il en a été employé dans la décoration de l'Opéra. On en trouve aussi dans les Vosges, dans le Morvan ; celui de Saint-Raphaël, qui a une belle couleur bleue, a été beaucoup employé par les Romains à toutes les époques. A Lessines et à Quenast, en Belgique, on extrait un porphyre grossier de couleur verte utilisé pour les pavages, et que l'on expédie pour cet usage à de grandes distances ; en Bretagne on trouve aussi du porphyre bon pour faire des pavés.

On classe encore dans les roches porphyriques la *serpentine*, ou vert de mer fort employé, en marbrerie et que l'on rencontre dans les Hautes-Alpes, les Vosges, la Corse, et les *trapps*. roches éruptives foncées, de composition variée, et que l'on trouve dans les Vosges et aussi dans certains bassins houillers.

417. Roches volcaniques. — Les roches volcaniques comprennent les laves, les trachytes et les basaltes. Les *laves* ont coulé sur le flanc des volcans et se sont refroidies et solidifiées en amas souvent considérables ; leur texture est celluleuse et leur couleur d'un gris très foncé. La plus estimée est celle de Volvic (Puy-de-Dôme). Elle sert pour la construction et la cathédrale de Clermont-Ferrand est en grande partie édifiée avec cette matière. Dans tout le centre de la France on l'emploie pour faire des dalles, des marches d'escaliers, des assises de soubassements.

La lave présente sur toutes les autres pierres l'avantage de résister à la chaleur sans se fendre, se déformer ni se gauchir, même en dalles minces ; elle peut au four recevoir à la surface une application d'émail, d'où la lave émaillée, fort employée maintenant malgré son prix élevé dans l'industrie et la décoration.

Les *trachytes* sont des roches riches en feldspath, se pré-

sentant soit à l'état compact, soit à l'état poreux. Ils forment des gisements très considérables dans les contrées volcaniques et entrent dans la construction de bien des villes, soit à l'état de pierre de taille, soit à l'état de moellon. La ville de Puy-en-Velay est construite avec cette sorte de matériaux. Dans d'autres localités, au Mont Dore par exemple, elle se débite en tranches qui servent comme ardoises grossières, et on la nomme roche tuilière. Enfin les trachytes peuvent prendre une forme boursouflée et donner la matière connue sous le nom de pierre ponce, que l'on rencontre dans les environs des volcans anciens ou en activité, Mont Dore, Vésuve, îles Lipari, etc.

Les *basaltes* sont des roches lourdes, noires, compactes, qui se distinguent par leur séparation en prismes à 6 pans due au retrait pendant le refroidissement.

Leur densité atteint 3000 kg. le mètre cube ; leur résistance arrive à 2000 kg. par centimètre carré ; leur taille est difficile. On les emploie en moellons dans la construction, en empierrement pour les routes ; à Montélimart, on en a fait un pavage régulier hexagonal. On en fait aussi des bordures.

418. Roches siliceuses de sédiment. — On nomme ainsi des roches de structure ordinairement amorphe, disposées dans le sol en couches parallèles. Leur composition est très variable et les fait diviser en :

Roches siliceuses.

Roches argileuses.

Roches calcaires.

Les principales roches siliceuses de sédiment sont les grès, les silex, et les conglomérats.

Les *grès* sont des sables réunis, agglomérés par un ciment naturel quelconque : la matière agglutinante peut être de la silice, de l'argile, de l'oxyde de fer hydraté, ou enfin du calcaire. Leurs propriétés varient avec leur composition.

Les grès à ciment siliceux sont les plus estimés et les plus résistants.

Les grès de Fontainebleau et de la vallée de l'Yvette, lorsqu'ils sont siliceux, sont recherchés pour le pavage. Ceux de Fontainebleau sont regardés comme inférieurs à cause de leurs propriétés hygrométriques plus accusées.

Ces grès ne sont pas propres à faire les murs en élévation de nos habitations. Ils se salpêtrent trop facilement et donnent des constructions toujours humides.

La *grauwacke* est une sorte de grès formée par des sables quartzeux solidement réunis par une gangue argileuse, contenant quelquefois un peu de silice. Elle se trouve en grands gisements dans la Bretagne et les Ardennes. On ne l'emploie en maçonnerie que dans les plus grossières constructions.

Le *grès houiller* a une composition identique, mais il est en général plus solide; son grain est fin. Il pèse 2100 kgr. le mètre cube et se rompt sous une charge de 200 kgr. par centimètre carré. Malgré cela il fait des constructions médiocres et résistant mal à l'humidité. On l'emploie beaucoup à l'état de moellons et certaines villes, comme St-Etienne, sont élevées avec cette roche.

Les *grès des Vosges* et les *grès bigarrés* se trouvent en grands gisements dans l'Est de la France Leurs sables sont agglutinés avec un ciment siliceux ; leur couleur est rouge ou rosée; leur poids varie de 2000 à 2200 kgr. le mètre cube; leur résistance atteint 220 à 500 kgr. par mètre cube. Ils ne s'altèrent pas, bien que, lorsqu'ils sont poreux, ils absorbent l'humidité. La cathédrale de Strasbourg est construite en grès bigarré et on en a un échantillon à Paris dans le soubassement du Palais de l'Industrie.

Dans les pays de production on le débite en plaques minces, qui sont employées à couvrir les toitures sous la dénomination de lave.

Le grès, lorsqu'il est pur et à gangue siliceuse, est réfractaire et trouve de suite son application dans la construction des fourneaux industriels.

La *molasse* est une sorte de grès à ciment calcaire pesant 2000 kg. le mc., résistant à 50 ou 100 kg. par cm. carré, et que l'on emploie beaucoup pour les constructions ordinaires en Suisse, dans le Dauphiné et la Savoie.

Les *quartzites* sont des grès siliceux compacts, ayant l'aspect du porphyre.

Les *silex* se trouvent en rognons de faibles dimensions disséminées dans la craie ; on les emploie aux constructions ordi-

naires en Picardie et dans la Normandie. On les utilise également pour l'empierrement des chaussées.

A cette catégorie des roches de sédiment appartient *la meulière*, dont il a été déjà question au chapitre premier de cet ouvrage. Compacte, elle porte le nom de caillasse ; caverneuse, c'est la meulière proprement dite.

La caillasse est très solide, mais prend moins bien le mortier. On peut l'admettre dans les meilleures constructions, si elle se présente sous forme de plaquettes. — La meulière proprement dite a une résistance moindre et variable avec les vides qu'elle renferme, mais se lie mieux avec le ciment. A Gif on en trouve des bancs très légers, pesant à peine 650 kg. le m. cube, qui ne sauraient présenter aucune sécurité dans la construction. On trouve la meulière aux environs de Paris, à La Ferté-sous-Jouarre, Saint-Michel, Corbeil, etc.

On trouve dans l'Argonne une roche siliceuse contenant un peu d'argile et que l'on nomme la *gaize*. Cette pierre est tendre, verdâtre, très gélive, et un peu réfractaire. On en fait dans le pays des fours à chaux et autres, des garnitures d'intérieur de cheminées. La silice gélatineuse qu'elle contient lui donne des propriétés de pouzzolane.

419. Roches argileuses. — Les roches argileuses sont très employées dans la maçonnerie à l'état de produits céramiques cuits ; on les étudiera spécialement au chapitre XIII. A l'état naturel, on ne trouve guère comme roche argileuse que les schistes, qui feuilletés et divisés servent dans la couverture, et compacts s'utilisent pour des dalles, des marches, des pierres taillées de toutes sortes. Quelquefois, comme dans les Ardennes et l'Anjou notamment, on les emploie comme moellons ; ceux-ci présentent l'avantage de lits parallèles, qui donnent beaucoup de solidité aux ouvrages.

420. Roches calcaires. — Les roches de sédiment calcaires sont formées de carbonate ou de sulfate de chaux. Le sulfate de chaux sera étudié au chapitre XII et l'on ne traitera ici que les calcaires carbonatés.

Ils sont rayés par le fer, rayent le cuivre, font effervescence avec les acides.

Très purs, ils constituent la craie ou le marbre blanc; mais la plupart du temps ils sont mélangés de matières étrangères, dont les principales sont l'argile, la silice. l'oxyde de fer, le carbonate de magnésie, et quelquefois des matières bitumineuses.

Les roches calcaires sont les matériaux de construction les plus répandus. Leur structure est variable, ainsi que toutes leurs autres qualités.

Les calcaires durs se scient à l'eau et au grès et pèsent 2200 à 2800 kg. le mètre cube.

Les roches tendres se débitent à la scie à dents et pèsent 1400 à 2200 kg. le mc.; on a déjà vu au chapitre I les grandes variations de leur résistance.

Parmi les calcaires, on distingue les roches compactes à grains fins, qui forment des dépôts souvent de grande épaisseur et de grande étendue. Dans cette série se trouve les pierres lithographiques, dont les plus beaux gisements existent en Bavière, et qu'on exploite dans quelques carrières de l'Indre, de la Côte-d'Or, de l'Ain et de la Dordogne. Elles servent aux ouvrages fins et aux carrelages.

Dans les calcaires fins on peut ranger la pierre de Belvoye (Jura) qui pèse 2700 kg. et a une résistance de 700 à 800 kg. par centimètre carré. Elle est d'un jaune rosé remarquable et peut prendre le poli, mais elle présente parfois une grande quantité de criques linéaires qui déparent sa surface après quelques années d'emploi. On l'a beaucoup employée à Paris.

Les liais et cliquarts sont encore des calcaires fins ; on les trouvait autrefois aux environs de la capitale en bancs de 0,20 à 0,40. Ils sont devenus rares aujourd'hui et sont remplacés par des pierres analogues de plusieurs localités de Seine-et-Oise et de l'Aisne.

La pierre de Comblanchien, celle de Grimault et les pierres de l'Yonne rentrent encore dans cette catégorie. La pierre de Comblanchien, très usitée pour dallages et escaliers, a un beau grain, une densité de 2700 kg. et une résistance de 1000 kg.

La pierre de Tonnerre (Yonne) est un peu inférieure et sert aux mêmes usages.

Les calcaires oolithiques ont un grain ayant l'aspect d'œufs de poisson juxtaposés et agglutinés par un ciment calcaire. On les trouve dans nombre de localités. La pierre de Caen a une grande réputation et est depuis longtemps exportée en Angleterre pour l'exécution des monuments ; elle pèse de 1900 à 2000 kg. et sa résistance est de 160 à 200 kg.

Les calcaires à entroques sont formés de débris d'animaux sous forme de grains brillants soudés entre eux, avec vides interposés. On en trouve d'immenses gisements en Lorraine et, les carrières les plus importantes sont celles d'Euville et de Lérouville, pierres dures employées en grande quantité dans les constructions parisiennes. Elles pèsent 2250 à 2450 kg. le mc. et leur résistance varie de 250 à 430 kg. par centimètre cube.

Travertins. — Les travertins sont des calcaires lacustres formés par des dépôts de sources calcaires ; dans quelques pays ils donnent de très bonnes pierres de construction.

Les travertins d'Italie résistants et légers ont servi à faire de grandes voûtes d'églises, notamment le dôme de Saint-Pierre de Rome.

Les pierres de Château-Landon et de Souppes ont une origine analogue.

La hauteur d'assise est de 0,30 à 0,80, la densité 2500 ; la résistance 600 à 900 kg.

Cette pierre est susceptible de prendre le poli. Elle a servi à nombre de monuments, entre autres : l'Arc-de-triomphe de l'Etoile.

Ces sortes de pierres se forment encore de nos jours dans certaines localités et produisent d'ordinaire des tufs à grains plus ou moins grossiers, très tendres en carrière, mais durcissant à l'air pendant leur première dessiccation.

Le *calcaire grossier* comprend les roches à texture peu compacte et à grains irréguliers ; il se rencontre surtout au environs de Paris où il forme une série de couches de pierres, plutôt tendres que dures, et que l'on applique à la partie haute de nos constructions ; ces pierres durcissent par exposition à l'air. Parmi les couches qu'elles présentent on distingue :

La *lambourde,* le plus grossier de ces calcaires, mélangé de

nombreuses coquilles. On en fait des moellons et des pierres d'appareil ordinaire. Une des meilleures lambourdes est celle d'Arcueil.

Les *vergelés* sont plus solides ; leur grain uniforme se prête à la sculpture ; leur emploi est général dans la construction. Plusieurs façades du Louvre sont construites avec ce genre de pierres. Il y a à prendre avec ces calcaires de grandes précautions contre le froid, car la plupart gêlent facilement, tant qu'ils n'ont pas perdu leur eau de carrière, tant qu'ils sont verts comme l'on dit ; d'où leur nom.

Le *banc royal* se compose de couches plus homogènes et un peu plus dures ; il se scie à la scie au grès. Les bancs avaient une grande hauteur dans les carrières des alentours de Paris ; aujourd'hui il n'existent plus à proximité et leur plus prochain gisement est à Conflans à l'embouchure de l'Oise. La pierre de Conflans pèse 1600 à 1900 kgs. et sa résistance va jusqu'à 200 kgs. par centimètre carré.

Le *banc franc* est plus dur, son grain est égal, assez régulier et il contient peu de coquilles ; mais il ne résiste, ni à l'eau, ni à la gelée et ne convient nullement dans les endroits humides. On l'exploite à Vitry, Ivry, Châtillon, Arcueil, etc.

Le *banc de roche* vient ensuite : la pierre y pèse jusqu'à 2300, et sa résistance va jusqu'à 400 kgs. A Clamart et Châtillon on trouve un banc demi-dur; à Bagneux la pierre est plus dure.

Toutes ces pierres, qui avec les liais et cliquarts se trouvaient en grande abondance tout autour de Paris, n'existent plus ou presque plus ; elles ont été épuisées pour la construction de la capitale. On fait venir maintenant de beaucoup plus loin, pour les remplacer, des pierres analogues, auxquelles on a conservé les mêmes noms. Citons :

Liais très durs : de Grimault (Yonne) ;

Liais cliquarts : Violaine et Longpont (Aisne) ;

Liais durs : Lignerolles, Larrys-du-Bief (Yonne) ;

Liais demi-durs : Carrières de St-Denis et de Poissy (Seine-et-Oise) ;

Roches très dures : Tessancourt (Seine-et-Oise), Aumont (Oise), Villers-la-Fosse (Aisne) ;

Roches dures : Chauvigny, Euville, Lérouville, Fontaine-du-Breuil (Vienne), Laversine, Bonneuil, Longpont (Aisne), Courville (Marne), Coulmiers (Côte-d'Or), Anstrude (Yonne) ;

Roches demi-dures : St-Maximin (Oise), Ile-Adam (Seine-et-Oise) ;

Roches douces : Marly-la-Ville (Seine-et-Oise), *St-Maximin* (Oise), Méry (Seine-et-Oise), Moloy (Aisne) ;

Banc franc dur : Pargny (Aisne), Moloy (Aisne), Chauvigny et Tercé (Vienne), Marly-la-Ville, Mériel (Seine-et-Oise), Charentenay (Yonne) ;

Bancs royals durs : Méry (Seine-et-Oise), Courson (Yonne), Lavoux (Vienne), Château-Gaillard (Vienne) ;

Bancs royals tendres : Conflans, Marly-la-Ville, Abbaye-du-Val, Méry (Seine-et-Oise), St-Maximin, St-Vast-les-Mello (Oise), Crouy, Moloy, Longpont (Aisne), Malvaux (Nièvre) ;

Vergelés : Genainville, Méry, Parmain (Seine-et-Oise), St-Vast, St-Leu, Laigneville (Oise), Vierzy et Longpont (Aisne).

Ces noms d'origine ancienne sont appliqués à des gisements très divers.

Calcaires terreux. On distingue :

La *craie blanche*, type du calcaire terreux ; c'est du carbonate de chaux à peu près pur. Elle est très tendre, friable, pèse 1300 kgs. le m. c. et absorbe 20 °/₀ d'eau. Elle n'a aucune résistance, se délite à l'air et est très mauvaise pour constructions à l'extérieur.

Elle sert surtout à la fabrication du blanc d'Espagne employé en peinture. De forts gisements existent à Meudon et tout autour de Paris à une certaine distance. Il y en a aussi d'immenses amas en Champagne et en Normandie. Les falaises d'Étretat sont renommées.

La *craie tufeau* est moins pure ; elle contient 30 à 50 °/₀ d'argile. Elle se trouve en Touraine et dans l'ouest de la France. Sa masse, peu solide, est moins friable que la craie ; elle résiste à 75 kgs. par cm. c., pèse 1400 kgs. le m. c. ; on

l'emploie dans nombre de constructions et bien des châteaux de la Vallée de la Loire en sont formés. Elle présente l'inconvénient d'absorber l'eau et exige des murs épais.

Le *calcaire bitumineux* est une pierre, très variable de composition et de structure, imprégnée de matières bitumineuses; ainsi le *calcaire de Seyssel* (Ain) connu sous le nom d'asphalte ; il contient 6 à 10 °/₀ de bitume qu'on en extrait. La *pierre de Givet* (Ardennes) est bonne à la construction, mais gélive. Le *calcaire de Soignies* (Belgique) est une pierre très dure qui a servi à exécuter la plupart des monuments de Bruxelles ; elle est très employée dans le Nord de la France comme pierre de construction et comme marbre.

Des marbres. Leurs *caractères généraux* sont : texture ordinairement compacte, nombreuses veines et couleurs déterminées dans beaucoup de gisements par des matières charbonneuses, bitumineuses, par des minéraux, des fossiles. Les marbres sont très durs et *prennent le poli*. Ils sont *lourds* (pèsent de 2550 à 2800 k. le mc.) et présentent souvent des défauts d'homogénéité, surtout lorsqu'ils sont formés de brèches ou de poudingues.

On classe les marbres en :

Marbres simples (unicolores et veinés) ;

Marbres brèches ;

Marbres composés ;

Marbres lumachelles ;

On range encore parmi les marbres les albâtres qui ont une texture fibreuse particulière.

Marbres simples : 1° *Blancs* : En première ligne vient le marbre statuaire de Carrare, le plus beau des marbres blancs, puis celui de Paros (Grèce) qui a un grain plus gros et quelquefois jaunâtre) ; le marbre blanc de Gênes est également statuaire. En France, on tire le marbre statuaire de St-Béat (Pyrénées); il est blanc, quelquefois grisâtre. — Les escaliers et bassins du parc de Versailles sont exécutés en marbre blanc de cette localité.

2° *Blancs veinés* : Ces marbres sont moins estimés et se trouvent en bien des localités de France ; on les emploie dans la décoration intérieure.

3° *Bleus* : L'un des plus remarquables est le bleu Turquin ; la couleur de ses veines bleues est due à des matières charbonneuses, on l'exploite en Italie. — On en trouve : à Caunes (Aude), Arbois (Jura), Plougastel (Finistère), Serraggio (Corse). A Salin (Jura) on exploite un marbre bleu jaspé de gris et de blanc; à Châtillon-sur-Seine se trouve un marbre bleu avec des veines jaune d'or.

4° *Gris et Cendrés* : Le marbre Napoléon, venant de Marquises (Pas-de-Calais) a été employé à la Colonne de la Grande Armée à Boulogne, à la chapelle expiatoire, au tombeau de Napoléon (Invalides). — Le Sarrancolin (Hautes-Pyrénées), mêlé de jaune et de rouge, présente des dessins anguleux à la manière des brèches ; on l'a employé pour les colonnes du grand escalier de l'Opéra.—Le Sarrancolin de l'Ouest exploité à Greez (Mayenne), est moins beau et moins cher, et varie du gris au rose.

5° *Jaunes*: Le jaune antique venait de Lacédémone ; on cite encore le jaune de Sienne. A Beyrède (Hautes-Pyrénées), on trouve un marbre présentant des nervures rouges sur fond jaune, ou jaune et rouge sur fond blanc. — A Philippeville (Algérie), on exploite de beaux gisements jaunes et roses connus sous le nom de marbres de Numidie.

6° *Noirs*: On trouve le noir antique à St-Crépin (Alpes françaises); beaucoup de localités donnent des marbres noirs : le noir français est commun, dans le Nord, dans l'Isère, en Belgique. — Le Ste-Anne tourne au gris, et se trouve dans les mêmes localités.

7° *Rouges*: Le rouge antique était exploité en Grèce et amené à Rome. — Dans le Languedoc et à Caunes (Hérault), se trouve le rouge français, ainsi que la griotte d'Italie et la griotte panachée, tous ces marbres sont rouges et blancs. — On exploite le rouge royal à Franchimont (Belgique) ; il est rouge mélangé de gris et de blanc. Tous ces marbres sont très employés pour la décoration des palais et maisons.

Marbres brèches. — On distingue parmi ces marbres les grand et petit antique que l'on trouve à St-Girons (Ariège); et qui a une grande ressemblance avec les brèches antiques ; la brèche d'Alep, qui vient des environs d'Aix, ainsi nommée à

cause de son analogie avec les brèches de la ville de Syrie; la brocatelle d'Espagne, brèche composée de petits éléments agglutinés ; il s'exploite en Catalogne ; enfin la brocatelle de Sienne, avec des taches violettes et jaunes.

Marbres composés. — On comprend dans cette catégorie : le Campan des Hautes-Pyrénées, de couleur verte ou rouge. Il s'altère à l'air et n'est bon que pour l'intérieur; le Portor, noir à veines jaunes, qui vient des Apennins ; on le trouve aussi à Sauveterre et à Troubat (Hautes-Pyrénées), St-Florent (Corse), Regneville près Coutances (Manche). — On rattache encore aux marbres composés les roches dans lesquelles domine la serpentine, comme le vert antique.

Marbres lumachelles. — Ces marbres contiennent un grand nombre de coquillages et de madrépores, agglutinés par un ciment calcaire, tels sont le Lumachelle de Narbonne, le marbre d'Argonne, le Lumachelle d'Astrakan, enfin, le petit granit des Ecaussines (Belgique).

L'*Albâtre* est un peu différent des autres marbres qui précèdent ; sa texture est fibreuse. L'albâtre fait effervescence avec les acides et raye les marbres. On distingue l'albâtre commun, de Grèce et d'Italie ; l'Onyx d'Algérie, près d'Oran de couleur blanche, rouge, jaune ou verte, et dont la texture est rubannée.

CHAPITRE XI.

CHAUX ET CIMENTS

§ 1. *Propriétés générales.*
§ 2. *Procédés de fabrication.*
§ 3. *Essais de résistance.*
§ 4. *Des mortiers et bétons.*

SOMMAIRE :

§ 1. *Propriétés générales des chaux et ciments* : 421. Importance du sujet. — 422. De la chaux grasse. — 423. Hydratation de la chaux. — 424. Chaux maigres. — 425. Chaux hydraulique. — 426. Chaux limites. — 427. A quoi tient l'hydraulicité des chaux. — 428. Indices d'hydraulicité. — 429. Principales chaux hydrauliques employées à Paris. — 430. Ciments, division en deux classes. — 431. Ciments à prise rapide. — 432. Ciments à prise lente. — 433. Pouzzolanes.

§ 2. — *Procédés de fabrication* : 434. Fabrication de la chaux grasse. Préparation de la pierre. — 435. Cuisson au tas ou au four de campagne. — 436. Fours intermittents. — 437. Fours continus pour combustibles à longue flamme. — 438. Fours continus pour combustibles fixes ou à courte flamme. — 439. Fours à gaz. — 440. Consommation de combustible. — 441. Constructions aux abords du four, — 442. La chaux grasse au point de vue hydraulique. — 443. Fabrication de la chaux hydraulique. Calcaire seul. Calcaire et argile. — 444. Extinction de la chaux hydraulique. — 445. Disposition d'une fabrique de chaux hydraulique. — 446. Fabrication de ciments romains. Opérations successives. — 447. Fabrication des ciments à prise lente. Matières à employer. — 448. Mélange et dosage des matières. — 449. Décantation et séchage. — 450. Affleurage de la pâte. — 451. Autre procédé de fabrication. — 452. Cuisson du ciment de Portland. — 453. Triage et pulvérisation. — 454. Magasinage, emballage. — 455. Ciments de laitier.

§ 3. — *Essais de résistance des chaux et ciments* : 456. Essais des ciments. Méthodes et appareils. — 457. Expériences. Tableaux des résultats. — 448. Résistance des ciments à la compression et à l'arrachement.—459. Rapport entre la résistance à l'arrachement et la résistance à la compression.— 460. Principales clauses des cahiers des charges pour les fournitures de ciment.

§ 4. — *Des mortiers et des betons* : 461. Divers mortiers. — 462. Fabrication du mortier de terre. — 463. Pisé. — 464. Mortiers de chaux grasse. — 465. Malaxeur à bras. — 466. Malaxeur à manège. — 467. Malaxeur à vapeur. — 468. Mesurage des matières. — 469. Valeurs des divers mortiers de chaux grasse. — 470. Mortiers de chaux hydraulique. — 471. Résistance des mortiers de chaux hydraulique. — 472. Mortiers de ciment à prise rapide. — 473. Résistance des mortiers de ciments romains. — 474. Mortiers de ciments de Portland. — 475. Prix de règlement des mortiers. — 476. Du beton, sa composition. — 477. Lavage des cailloux. — 478. Fabrication du béton. — 479. Prix de revient de la façon du béton. — 480. Pilonnage et emploi. — 481. Résistance des bétons. — 482. Béton coulé dans l'eau. — 483. Béton de ciment romain. — 484. Béton Coignet, dit béton aggloméré. — 485. Action de l'eau de mer sur les mortiers et betons.

CHAPITRE XI

CHAUX ET CIMENTS

§ 1.

PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES

421. Importance du sujet. — L'étude des chaux constitue l'une des questions les plus importantes en construction, car c'est de leur qualité et de leur bon emploi que dépend principalement la solidité des ouvrages de maçonnerie.

La chaux est un calcaire cuit. Un calcaire est une roche composée pour la plus grande partie de carbonate de chaux, et qui, par suite, fait effervescence au contact des acides.

Les chaux varient de propriétés avec la nature des calcaires employés comme matières premières pour leur fabrication. La proportion des corps étrangers en mélange avec le carbonate de chaux a surtout une grande influence sur le produit.

422. De la chaux grasse. — Lorsque le calcaire s'approche de la pureté absolue et ne contient guère que du carbonate de chaux, qu'il soit peu cohérent comme la craie, ou formé d'une roche dure et compacte, comme les pierres froides ou les marbres, il donne par la cuisson un produit que l'on appelle de la *chaux grasse*, et dont les principales propriétés vont être passées en revue.

423. Hydratation de la chaux. — Cette chaux, lorsqu'elle sort du four, est en morceaux plus ou moins déformés;

rappelant l'aspect des morceaux de calcaire employés. En cet état c'est la *chaux vive.* De la chaux vive nouvellement fabriquée, trempée dans l'eau pendant une minute environ puis retirée et posée dans un vase ouvert, ne tarde pas à se fissurer, à augmenter de volume, à produire un crépitement accompagné d'échauffement et de dégagement de vapeurs. Les morceaux se désagrègent ; une partie de l'eau absorbée pendant l'immersion se combine avec la chaux ; une autre partie est vaporisée par l'élévation de température, qui peut atteindre 250 à 300 degrés. Lorsque la réaction est terminée, le morceau est réduit en poussière fine qui se refroidit peu à peu. Le foisonnement total peut atteindre jusqu'à trois fois le volume primitif. Cette chaux en poudre s'appelle *chaux éteinte*, c'est de la *chaux hydratée* ou encore de l'*hydrate de chaux.*

Cette hydratation se produit d'une manière lente lorsque de la chaux venant d'être cuite reste quelque temps au contact de l'atmosphère. L'humidité de l'air est absorbée en même temps qu'il y a réaction entre la chaux et l'acide carbonique ambiant. Les phénomènes se passent petit à petit sans élévation notable de température, et la chaux n'est plus susceptible des phénomènes vifs qui ont été signalés tout à l'heure. La chaux est dite *éventée.*

Si on ajoute à de la chaux éteinte en poudre une nouvelle quantité d'eau, on en fait une pâte d'autant plus onctueuse que le calcaire est plus pur. C'est cette pâte qui, mélangée au sable, fournira les motiers employés dans les travaux de maçonnerie.

La chaux en pâte met quelque temps à atteindre une homogénéité parfaite, par suite du temps très variable que demandent pour s'éteindre les différents morceaux ; aussi, dans les chantiers où on se sert encore de chaux grasse, on l'éteint longtemps d'avance, souvent plusieurs mois avant de l'employer dans des bassins spéciaux établis sur le sol ou dans le sol. Ces bassins servent aussi à l'emmagasiner jusqu'au moment de l'emploi.

Abandonnée au contact de l'air la pâte ainsi obtenue durcit en se desséchant et il s'y forme, par suite d'un retrait considérable, de nombreuses crevasses. L'acide carbonique de l'air

vient concourir au durcissement de la matière dans une certaine mesure, mais cette action n'est que superficielle ; ce n'est qu'à la longue que la carbonatation pénètre la masse par couches concentriques ; quelques millimètres seulement par année d'après les expériences de Vicat. Quand on éteint ainsi longtemps à l'avance la chaux destinée à une construction, on recouvre la surface d'une couche de sable de 0,05 à 0,10 d'épaisseur ; cette couche intercepte le contact de l'air, empêche à la fois le fendillement et l'action de l'acide carbonique.

Dans les ouvrages de fondation enfouis dans le sol, ou exécutés dans des endroits humides, le durcissement est très lent ; il ne s'opère que par la seule carbonatation Si l'accès de l'air n'a pas lieu, la chaux se conserve indéfiniment molle, comme le prouvent des mortiers de murs épais qui datent d'époques anciennes. Vicat rapporte une citation d'Alberti, d'après laquelle de la chaux aurait été trouvée éteinte dans une fosse où elle était restée 500 années ; elle présentait l'aspect d'une pâte délayée comme au premier jour.

Dans les ouvrages en élévation, au contraire, le mortier est exposé à la fois à l'action desséchante de l'air en même temps qu'à celle de la petite dose d'acide carbonique qu'il contient. Mais le durcissement n'est dû en grande partie qu'à la dessiccation qui a lieu avant que l'action chimique ait eu le temps d'agir efficacement. Aussi ce durcissement est-il médiocre et donne-t-il peu de sécurité. L'eau venant à pénétrer les ouvrages pourrait diluer de nouveau les mortiers et amener la ruine de la maçonnerie.

La chaux grasse immergée dans l'eau s'y conserve molle indéfiniment et y garde ses propriétés s'il n'y a pas accès d'acide carbonique. Si au contraire l'acide carbonique se trouve mélangé à l'eau, il y a formation d'un précipité de carbonate de chaux en poudre, qui se produit quelquefois dans certains travaux en grande quantité, et que l'on désigne sous le nom de *laitance*.

La chaux est un peu soluble dans l'eau ; celle-ci en dissout environ le millième de son poids.

Mise en contact avec de l'eau renouvelée et exempte d'acide

carbonique, la chaux finit par disparaître par dissolution complète.

La chaux est caustique, aussi les ouvriers qui manient les mortiers qui en dérivent se gardent-ils bien d'y toucher avec les mains; ils ne travaillent la matière que par l'intermédiaire de truelles en acier, qu'ils maintiennent toujours parfaitement propres et dont le manche est toujours sec. Dans les temps pluvieux on est obligé d'arrêter les travaux exécutés au mortier de chaux bien plus tôt que ceux exécutés en plâtre, à cause de la causticité dont il vient d'être question et des effets de laquelle il est malaisé de se garantir, toutes les surfaces étant mouillées.

424. Chaux maigres. — M. Durand-Claye, dans sa *Chimie appliquée à l'art de l'ingénieur*, définit la chaux maigre celle qui n'est pas grasse et ne fait pas prise sous l'eau.

Cette chaux se réduit en poudre par l'extinction mais gonfle peu et l'élévation de température est peu ou point sensible. La pâte obtenue par l'addition d'un excès d'eau n'est pas onctueuse, ne se lie pas, et par dessiccation présente moins de retrait et de crevasses.

La chaux maigre s'obtient toutes les fois qu'on opère la cuisson de calcaires impurs, quand l'impureté provient d'un mélange avec des matières étrangères inertes en quantité considérable.

Dans la pratique, les chaux maigres sont à rejeter. Elles n'ont pas l'avantage du foisonnement, et ne valent pas mieux que la chaux grasse au point de vue du durcissement. — Mises en contact avec de l'eau renouvelée, ces chaux se dissolvent ; le résidu solide se compose de la masse des matières étrangères qui leur étaient mélangées.

425. Chaux hydrauliques. — Certains calcaires donnent par la cuisson des chaux qui à la sortie du four se distinguent des chaux grasses par les caractères suivants :

Immergées dans l'eau pendant une minute puis retirées et déposées dans un vase ouvert, elles sont plus lentes à s'hydrater, elles se fendillent moins, donnent un dégagement de

chaleur et de vapeurs moindre et enfin foisonnent peu ou point, mais comme les chaux grasses finissent par s'éteindre et se réduire en poudre.

Mais une propriété nouvelle et importante au premier chef leur a fait donner leur nom : *elles durcissent même sous l'eau* et ce durcissement est d'autant plus énergique qu'elles s'éloignent plus des chaux grasses.

La pâte obtenue en additionnant la chaux hydraulique éteinte dans un bassin avec un excès d'eau se dessèche lentement à l'air et s'y durcit peu à peu en absorbant l'acide carbonique de l'air. Le retrait est faible et produit peu de fissures à la surface.

Si elle est abandonnée dans un local où la dessiccation soit impossible, elle durcit au bout d'un temps variable et comme cela a lieu dans l'eau.

Les chaux hydrauliques ont été subdivisées par Vicat en trois séries différentes d'après le temps nécessaire à leur prise. Il nomme :

1° *Chaux faiblement hydrauliques* celles qui ne commencent à faire prise qu'au bout d'un temps excédant huit jours.

2° *Chaux hydrauliques proprement dites* celles qui font prise en six à huit jours.

3° *Chaux éminemment hydrauliques* celles dont la prise est encore plus rapide.

D'après Vicat, la prise de la chaux est considérée comme faite lorsqu'une aiguille à tricoter d'un diamètre de 0,0012 peut se poser sur la surface de la chaux, par une section limée bien d'équerre, et supporter une charge de 300 grammes sans s'y enfoncer. La chaux soutient alors sans prendre empreinte la pression du pouce poussé par le bras et elle ne peut changer de forme sans se briser.



Fig. 725.

La fig. 725 représente le croquis de la disposition ordinaire de l'aiguille de Vicat ; deux planchettes horizontales servent de guides à l'aiguille verticale et sont soutenues par un trépied.

L'aiguille les traverse librement, elle est terminée par un entonnoir.

On connaît son poids propre et on ajoute dans l'entonnoir les poids additionnels nécessaires pour compléter le poids voulu total de 300 gr. La pâte à expérimenter est mise dans un vase transparent qui permet de se rendre compte si l'aiguille, au bout d'un certain temps, a laissé une empreinte à sa surface.

La température accélère beaucoup la prise des chaux, la différence de l'hiver à l'été peut être du double au simple, c'est-à-dire qu'en hiver la prise peut demander deux fois plus de temps.

426. Chaux limites. — Le produit de la cuisson de certaines natures de calcaires peut donner des matières qui font prise sous l'eau comme la chaux hydraulique, mais qui après plusieurs jours de prise se gonflent, se ramollissent, et ne présentent plus en fin de compte que l'apparence de la chaux grasse délayée.

Ces chaux se nomment *chaux limites*. Si après le ramollissement on les triture à nouveau, plusieurs fois au besoin, on finit par obtenir, après nouvel emploi, une prise définitive et une dureté analogues à celles des chaux éminemment hydrauliques.

427. A quoi tient l'hydraulicité de la chaux ? — A quoi tient la propriété hydraulique de ces diverses sortes de chaux ? A la présence dans le calcaire de silice et d'alumine combinées en certaines proportions ; c'est à Vicat que l'on doit d'avoir formulé définitivement ce principe, et cette grande et profitable découverte lui a permis de donner le moyen de créer en tous pays des chaux hydrauliques, à tel degré voulu, pourvu qu'on puisse se procurer à la fois du calcaire et de l'argile.

Il suffit, en effet, de malaxer avec un peu d'eau de la chaux grasse éteinte avec une proportion convenable d'argile, de terre glaise ou simplement de terre à briques, de laisser sécher et de cuire à nouveau, pour obtenir de la chaux hydraulique artificielle ; de la composition chimique, dont on est maître, découleront les propriétés du produit obtenu.

Rôle de la silice. — La silice paraît être la matière agissante

par excellence pour rendre les chaux hydrauliques, mais il faut qu'elle soit dans un état tel qu'elle puisse facilement se combiner avec la chaux. La silice gélatineuse, ou encore la silice unie à l'alumine peuvent rendre les chaux hydrauliques. Le quartz pilé serait sans influence s'il était en sable plus ou moins grossier ; mais s'il est réduit en poudre impalpable, la cuisson en présence de la chaux le rend capable de produire des résultats hydrauliques.

Il semblerait donc que la propriété hydraulique réside dans la combinaison chimique de la chaux avec la silice au moment de la prise.

D'après Durand-Claye la chaux de Senonches contient 16 °/₀ de son poids de silice ; celle du Teil, 23 °/₀ (voir la *Chimie appliquée à l'art de l'ingénieur*.

Rôle de l'alumine. — L'alumine seule, d'après les expériences de Vicat et de Berthier, n'ajoute aucun pouvoir hydraulique à la chaux, mais combinée avec la silice, sous forme d'argile, elle donne très facilement des chaux hydrauliques, soit parce que la cuisson en sépare une quantité de silice attaquable pouvant se combiner avec la chaux, soit parce que le silicate d'alumine restant s'ajoutant lui-même à la masse, aide la combinaison en formant un silicate double.

En effet, cette combinaison paraît rationnelle ; si on analyse une argile ordinaire, elle présente la composition d'un bisilicate d'alumine.

Rôle des autres substances. — Les autres matières mélangées aux calcaires sont sans influence sur l'hydraulicité de la chaux ; la magnésie seule dans certains cas peut produire les mêmes effets que l'alumine, mais dans des conditions tellement variables qu'il ne faut pas y compter et que pratiquement il est prudent de rejeter les calcaires qui sont unis à une forte proportion de magnésie.

128. Indice d'hydraulicité. — Les nombreuses expériences faites par Vicat et les autres savants qui se sont occupés de cette question ont prouvé que l'hydraulicité d'une chaux variait avec la proportion d'argile, et d'une manière assez constante pour que cette proportion puisse servir de mesure

du degré d'hydraulicité ; mais il ne faut comprendre dans l'argile que la silice combinée et l'alumine et non la silice inerte.

Ceci posé, on nomme *Indice d'hydraulicité* d'une chaux le rapport du poids de l'argile au poids de la chaux caustique réelle que cette chaux contient.

Les chaux grasses pures sont rares ; elles conservent leurs propriétés de chaux grasses jusqu'à l'indice d'hydraulicité 0,10, c'est-à-dire tant que le calcaire ne contient pas plus de 5 °/₀ de son poids d'argile.

Les chaux maigres ne dépassent pas cette même valeur de l'indice.

Les chaux hydrauliques passent par tous les indices d'hydraulicité compris entre 0,10 et 0,50.

Au-dessus de 0,50 jusqu'à 0,65 on a les chaux limites.

Dans l'ouvrage de Durand-Claye [1], on trouve le résumé suivant de la question :

Désignation des produits	Indice d'hydraulicité	Proportion sur 100 de calcaire	
		Argile	Carbonate de chaux
Chaux grasse ou maigre.......	0.00 à 0.10	0.00 à 5.30	100.00 à 94.70
— faiblement hydraulique	0.10 à 0.16	5.30 à 8.20	94.70 à 91.80
— moyennement hydraulique.	0.16 à 0.31	8.20 à 14.80	91.80 à 85.20
— hydraulique proprement dite	0.31 à 0.42	14.80 à 19.10	85.20 à 80.90
— éminemment hydraulique..	0.42 à 0.50	19.10 à 21.80	80.90 à 78.20
Chaux limite,................	0.50 à 0.65	21.80 à 26.70	78.20 à 73.30

429. Principales chaux hydrauliques employées à Paris. — Les chaux hydrauliques les plus renommées se trouvent dans la classe des chaux hydrauliques proprement dites. A Paris on emploie fréquemment celles des Moulineaux

1. Durand-Claye. *Chimie appliquée à l'art de l'ingénieur.*

et de Bondy et Romainville dans le département de la Seine, celles d'Argenteuil et Bougival, en Seine-et-Oise, de Beffes dans le Cher, du Teil, dans l'Ardèche, de Ville-sous-la-Ferté, dans l'Aube, etc.

En résumé la chaux hydraulique, soit naturelle, soit artificielle a remplacé partout la chaux grasse, elle donne d'excellentes maçonneries. Le mortier qu'elle fournit fait sa prise, résultant de la combinaison chimique de ses éléments, bien avant que la dessiccation de l'ouvrage ait lieu, et cette prise donne une bonne adhérence aux matériaux qu'il est chargé de relier. Le mortier une fois pris, l'eau ne peut plus le délayer, et l'ouvrage est indestructible par les agents atmosphériques.

430. Ciments. Division en deux classes. — La cuisson du calcaire peut donner des porduits qui ne s'échauffent pas sensiblement par leur contact avec l'eau, qui ne s'y éteignent pas, et ne se réduisent pas en poudre, mais qui, écrasés mécaniquement et mélangés à l'eau, forment une pâte capable de faire une prise énergique dans un laps de temps de 10 minutes à 24 heures, et conservant cette propriété même dans l'eau. Ce sont les *ciments.*

On en distingue de deux sortes :

1° Les *ciments à prise rapide*, dont la prise varie de cinq minutes à vingt minutes suivant la date de fabrication. On les désigne aussi sous le nom de *ciments romains*, quoi qu'ils n'aient aucun rapport avec les mortiers de l'ancienne Rome.

2° *Les ciments à prise lente.* — Prennent en un quart d'heure, s'ils sont fraîchement fabriqués, ou en plusieurs heures s'ils sont plus ou moins éventés. Ces ciments acquièrent une dureté encore plus grande que les précédents. On les désigne surtout sous le nom de *ciments de Portland.*

Composition des ciments. — De même que la chaux, les ciments doivent à la présence de la silice, seule ou mélangée à l'alumine, leurs propriétés hydrauliques. On trouve dans la *Chimie* de Durand Claye le tableau suivant donnant leur indice d'hydraulicité et leur composition.

Désignation des produits	Indice d'hydraulicité	Proportion sur 100 de calcaire	
		Argile	Carbonate de chaux
Ciment à prise lente..........	0.50 à 0.65	21.80 à 26.70	78.20 à 73.30
Ciment à prise rapide.........	0.65 à 1.20	26.70 à 40.00	73.30 à 60.00
Ciment maigre...............	1.20 à 3.00	40.00 à 62.60	60.00 à 37 40
Pouzzolane	au-dessus de 3.00	au-dessus de 62.60	au-dessous de 37.40

Ce tableau montre l'identité de composition des chaux limites et du ciment à prise lente ; souvent même on peut produire du Portland avec le calcaire propre à faire des chaux éminemment hydrauliques. La cuisson seule diffère et est poussée à plus haute température.

On suppose, et c'est la théorie imaginée par M. Rivot, que lorsque l'on produit à basse température de la chaux limite il y a formation de silicate et d'aluminate de chaux sans chaux libre en excès. Qu'après le mélange avec l'eau, ces produits s'hydratent et font prise rapidement, mais qu'au bout de peu de temps l'aluminate de chaux, peu stable, est décomposé et l'alumine est déplacée par l'eau, d'où l'instabilité des chaux limites.

Dans le ciment à prise lente, au contraire, la cuisson à haute température détermine la formation d'un silicate double d'alumine et de chaux, et si la chaux en excès vient ensuite modifier la combinaison, la matière est déjà assez cohérente pour que sa solidité ne soit plus atteinte.

D'après la même théorie la cuisson des ciments à prise rapide ne présente pas cet inconvénient et n'a pas besoin d'être poussée à une température aussi élevée, parce qu'ils renferment toujours un excès de silice qui empêche la formation d'aluminates instables.

Dans les chaux hydrauliques la chaux en excès empêcherait la décomposition de l'aluminate tout en retardant la prise.

La découverte de Vicat étendue aux ciments permet, comme pour les chaux hydrauliques, de les fabriquer de toutes pièces au moyen de calcaire et d'argile, lorsque les localités ne donnent pas de calcaires argileux naturels de composition convénable.

Voici les principales propriétés des deux sortes de ciments :

431. Ciments à prises rapide. — Le ciment dit *Romain* ou à *prise rapide*, fait effectivemeut prise immédiate avec l'eau lorsqu'il sort des ateliers de fabrication. On ne doit pas l'employer dans cet état; lorsqu'au contraire il est fabriqué depuis plus longtemps, il ne fait prise qu'en un quart d'heure ou vingt minutes, ce qui donne le temps de le gâcher et de l'employer avant sa solidification.

Au moment où il se prend, il n'éprouve aucun retrait, il se gonfle plutôt légèrement; une fois pris, sa dureté est considérable ; elle augmente pendant quelques jours, puis reste à peu près stationnaire. On admet généralement qu'il a acquis toute la résistance dont il est susceptible, lorsqu'après s'être trouvé dans les circonstances les plus favorables à son emploi, il a séché complètement une première fois.

432. Ciments à prise lente. — Les ciments *à prise lente* sont aussi dénommés ciment de *Portland* ou simplement *Portlands* du nom de la localité d'Angleterre qui les a produits à l'origine. On les a d'abord préparés avec des calcaires qui présentaient naturellement la composition convenable, puis, après les travaux de Vicat, on les a fabriqués partout. Une des localités qui a eu longtemps le monopole de cette fabrication est Boulogne-sur-Mer; maintenant on en fabrique dans beaucoup d'usines créées dans le Boulonnais et aussi dans nombre d'autres localités.

La densité du ciment de Portland varie de 1200 à 1500 kg. le mètre cube de matière pulvérisée; le degré de tassement influe notablement sur ce chiffre.

Pour éviter, avec les calcaires de composition convenable, de produire des chaux limites, dont l'emploi est à rejeter, il faut

pousser la cuisson jusqu'à obtenir à la surface des morceaux un commencement de fusion. La température nécessaire à la production des ciments, est donc de beaucoup supérieure à celle qui suffit à la fabrication de la chaux, ce qui, dans quelques localités, leur a fait donner la dénomination de ciments surcuits.

433. Pouzzolanes. — On nomme Pouzzolanes des produits, inertes par eux-mêmes, qui mélangés à la chaux grasse se combinent avec elle, et lui communiquent des propriétés hydrauliques.

Il y a des Pouzzolanes naturelles et des Pouzzolanes artificielles.

Parmi les Pouzzolanes naturelles, la plus anciennement connue, et dont parle Vitruve, venait de Pouzzoles, au pied du Vésuve.

Depuis, on en a trouvé dans nombre de contrées volcaniques. Ce sont des roches frittées, caverneuses presque toujours de couleurs foncées et présentant la composition chimique d'une argile (Silice et alumine additionnées d'autres corps plus ou moins inertes).

La Pouzzolane doit être réduite en poudre très fine avant d'être mélangée à la chaux ; c'est la condition indispensable pour qu'elle donne toute son action.

Le tras, fort employé encore de nos jours en Hollande, et qui vient d'Allemagne, certains sables argileux, une roche nommée Gaize qui se trouve dans les Ardennes et contient beaucoup de silice gélatineuse, forment aussi des pouzzolanes naturelles.

Les pouzzolanes artificielles les plus ordinaires, sont composés d'argiles cuites, et connues sous le nom bien ancien de *ciment de tuileau*. On a employé également avec succès pour cet usage le gneiss torréfié, les cendres de houille ou de tourbe, le mâchefer, les laitiers des hauts fourneaux, etc.

Les ciments, additionnés à la chaux grasse lui communiquent également des propriétés hydrauliques, et on ne les range pas parmi les pouzzolanes, parcequ'ils peuvent être employés seuls. Les mélanges de chaux et ciments sont fréquemment appliqués dans la maçonnerie.

§ 2.

PROCÉDÉS DE FABRICATION DES CHAUX ET CIMENTS

434. Fabrication de la chaux grasse. Préparation de la pierre. — Dans la fabrication de la chaux grasse, le calcaire étant employé tel qu'il sort de la carrière, la seule préparation à faire subir à la matière première consiste en un cassage en morceaux, réguliers en grosseur, immédiatement avant la cuisson. Ce cassage est nécessaire pour que la cuisson soit uniforme et que la pénétration de la chaleur se fasse partout dans la masse dans le même espace de temps. On rejette les menus, car ils encombrent les vides et empêchent le passage des gaz chauds que produisent les combustibles employés.

On procède alors à la cuisson ; elle s'opère dans une enveloppe en terre, ou plus souvent en maçonnerie, que l'on nomme un *four à chaux*.

435. Cuisson au tas, ou au four de campagne. — Lorsque l'on veut limiter la fabrication à la quantité nécessaire à une construction, dans un pays éloigné de toute usine à chaux, on établit ce que l'on appelle un *tas*. Sur une aire convenablement dressée on construit à sec quelques carneaux, avec de gros morceaux de calcaires laissant entre eux des rigoles que l'on remplit de combustible, et on les recouvre par des plaquettes de pierres à chaux ; au-dessus, on monte des assises successives de combustible et de calcaire régulièrement cassé ; puis on recouvre le tout d'une couverte en terre argileuse, dans laquelle on ménage les ouvreaux nécessaires à l'échappement des gaz et à la régularité de la cuisson. Lorsque la chaleur rouge est atteinte, on ferme les ouvreaux pour concentrer la chaleur et régulariser la température dans toute la masse. Enfin, on laisse refroidir et on défourne rapidement pour mettre la chaux à l'abri jusqu'au moment de l'emploi.

On établit souvent aussi, lorsque le terrain s'y prête, ce que

l'on nomme un *four de campagne*, dont les parois sont établies en pierres sèches et recouvertes extérieurement de terre. On forme ainsi une sorte de cuve, adossée quand on le peut à une paroi verticale taillée dans le terrain naturel. On met le combustible à la partie basse, au-dessus on dispose les plus gros morceaux de calcaire en forme de voûte ; immédiatement après on verse la quantité voulue de calcaire cassé, et on allume le four. Lorsque la température est suffisante, on couvre le tout avec de la terre pour régulariser la chaleur, et après refroidissement on défourne. On donne souvent à ces tas 5 m. 00 de diamètre à la base et une hauteur allant jusqu'à 4 m. 00. Mais ces procédés de cuisson élémentaires s'emploient peu maintenant ; avec les moyens de transport dont on dispose, on a facilement des chaux cuites régulièrement et plus économiquement dans des usines.

Là on emploie des fours fixes maçonnés, que l'on nomme des fours à chaux, et on distingue parmi ces fours ceux qui sont *intermittents*, et ceux qui sont dits *continus ou coulants*.

436. Fours intermittents. — Le plus simple des fours intermittents est le four représenté dans la fig. 726, que l'on rencontre dans bien des briqueteries et qui accidentellement peut servir à la cuisson de la chaux.

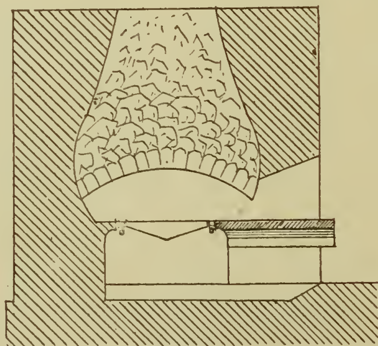


Fig. 726.

Il se compose d'un foyer avec grille pour le combustible, et d'un cendrier au-dessous. Le foyer se continue à la partie su-

périeure. Les parois du foyer et celles de la cuve sont construites en matériaux réfractaires, pierres ou briques, hourdées avec un mortier d'argile plus ou moins réfractaire, et cela sur une épaisseur de $0^{m}20$ à $0^{m}40$ suivant la température à laquelle elles doivent résister.

On range dans ce four les morceaux de calcaire en commençant par former avec les plus gros, au-dessus du foyer, une véritable voûte, présentant entre les pierres les interstices voulus pour le passage de la flamme. Au-dessus, on verse le reste de la charge, les petits fragments étant réservés pour le haut. Cela fait, on allume le feu sur la grille et on charge le combustible ; la flamme et les gaz chauds de la combustion s'élèvent à travers les vides du calcaire, et, après avoir échauffé la masse, arrivent à s'échapper en même temps que l'acide carbonique déplacé, par l'ouverture supérieure appelée *gueulard*. On active le feu jusqu'à obtenir la chaleur rouge dans toute la masse, et on ferme toutes les ouvertures pour régulariser la température et achever la cuisson uniforme. On laisse ensuite refroidir et on défourne.

Les fours établis dans ces conditions doivent être limités à environ 5 à 6 mètres carrés de section et 3 à 4 mètres de hauteur.

Le diamètre de la grille est environ la moitié du plus fort diamètre de la cuve.

Dans les fours intermittents on brûle des combustibles à longue flamme, bois ou houille, et on allonge souvent la flamme par l'envoi d'un jet de vapeur dans le foyer. La vapeur, en se décomposant au contact du charbon, produit de l'hydrogène, en même temps que l'excès de vapeur déplace l'acide carbonique du calcaire et concourt au résultat de l'opération. On peut produire cette vapeur en mettant sous le foyer un cendrier en métal que l'on entretient plein d'eau pendant tout le temps de la marche du four.

La forme du four est évasée par le bas pour que la section diminue à mesure que les gaz montent et que leur température s'abaisse. De cette manière, ils arrivent à parcourir en filets parallèles toute la section du four, et la cuisson en devient d'autant plus uniforme et régulière.

La régularité de la cuisson est une des conditions les plus indispensables de la fabrication de la chaux ; sans elle il se forme des *incuits* et des *biscuits*, matières ou insuffisamment ou trop chauffées, désignées également sous le nom général de *pigeons* ou de *grappiers*, et qui forment des déchets souvent considérables, à éviter soigneusement dans une usine bien conduite.

L'action du feu doit être continuée pendant un temps assez long qui varie avec la matière ; la température doit arriver au rouge cerise et souvent presque au blanc.

A part quelques circonstances spéciales, les fours discontinus ne sont plus en usage, parce que les fours continus qui vont être décrits ci-après peuvent marcher à l'occasion en marche intermittente.

137. Fours continus pour combustible à longue flamme. — Les fours continus peuvent être établis, soit pour combustibles à longue flamme, soit pour combustibles à courte flamme. La construction en est très différente dans les deux cas. Pour les combustibles à longue flamme, il faut un foyer avec grille, et, au-dessus, un espace assez considérable pour développer cette flamme et obtenir sa combustion aussi complète que possible, avant le contact du calcaire qui l'éteindrait.

On peut imaginer un four analogue au précédent avec une cuve de même forme et plus élevée : en bas, un foyer avec cendrier, et au-dessus du foyer une voûte, mais construite cette fois à demeure, et avec des matériaux très réfractaires. Cette voûte doit porter le calcaire à cuire.

Si on ajoute, au-dessus de la voûte, une ou plusieurs portes pour pouvoir retirer le calcaire, à mesure de sa cuisson, la matière s'affaisse à chaque fois et on la remplace au gueulard par une nouvelle charge de calcaire neuf. Le four est bien continu, et on y entretient le feu sur la grille aussi longtemps qu'on veut fabriquer de la chaux.

Les inconvénients principaux de cette disposition sont : 1° la difficulté de retirer la chaux régulièrement dans toute la section du four par la ou les portes de service ; 2° la manuten-

tion pénible de la chaux que l'on retire à la température du rouge presque blanc; 3° Et, par dessus tout, le refroidissement notable que cause dans le four la rentrée d'air froid par la porte d'extraction, refroidissement inégalement réparti dans la masse.

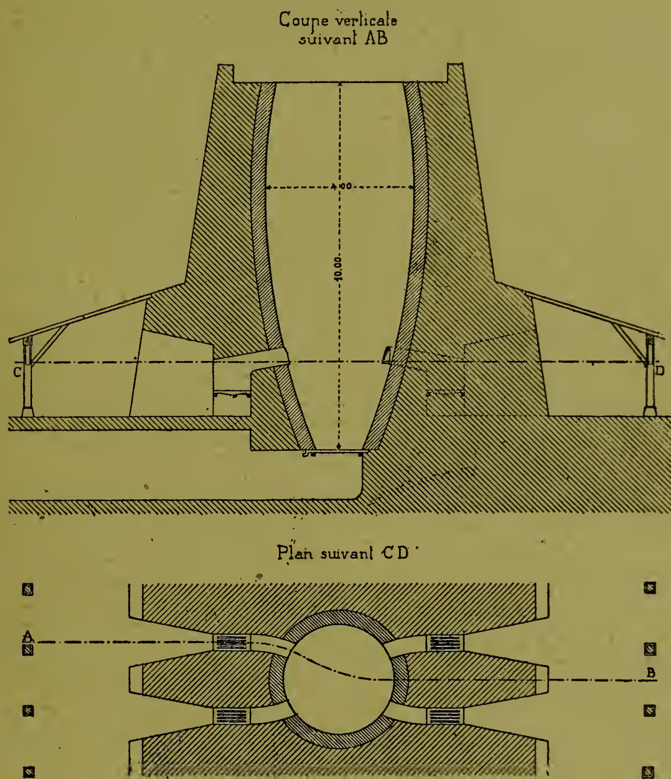


Fig. 727.

La disposition représentée par la fig. 727 est de beaucoup préférable. La différence essentielle est que l'extraction se fait par la partie inférieure de la cuve, au moyen d'une galerie qui aboutit à l'axe, et que le foyer unique du four précédent est remplacé par quatre foyers débouchant régulièrement dans la cuve à une certaine hauteur.

Par cette disposition les trois inconvénients ci-dessus signalés se trouvent supprimés ou grandement atténués.

En effet : 1° la chaux descend régulièrement et s'extrait facilement ; 2° dans le parcours, depuis le point de plus grande chauffe jusqu'à la galerie d'extraction, la chaux a été méthodiquement traversée par un courant d'air qui l'a refroidie, et 3° cet air, prenant la chaleur de la chaux, se trouve porté à une température élevée lorsqu'il arrive dans le four au point de chauffe, c'est-à-dire au débouché des carneaux des fours.

La disposition de ce four est telle qu'on peut facilement en accoler plusieurs en batterie lorsqu'on a besoin dans une usine importante d'une grande production journalière.

La cuve est formée de deux parties hachées différemment. La maçonnerie intérieure que l'on nomme la *chemise* est construite toute en matériaux et mortiers réfractaires, l'autre à l'extrémité sert à la fois d'enveloppe pour la solidité du four, et d'isolant pour éviter le refroidissement par la paroi du dehors. Les deux maçonneries ne sont pas liées l'une à l'autre, afin de à permettre de remplacer la chemise dès qu'elle est hors de service, sans avoir trop de démolition à faire.

Des armatures convenables en fer, disposées régulièrement, empêchent les fissures dues à la dilatation de s'exagérer et de compromettre la solidité de l'ouvrage.

La forme de la cuve est rationnelle, elle a pour but de faire circuler parallèlement dans la masse les filets gazeux ; à la partie basse, l'air entre froid et s'échauffe en augmentant de volume jusqu'au point de chauffe, la cuve va en s'élargissant dans cette hauteur et la section suit la dilatation de l'air.

A partir du point de chauffe jusqu'au gueulard, elle est au contraire parcourue par des gaz qui au départ ont leur température maximum et qui se refroidissent et se contractent en montant. Aussi la section de la cuve, qui a son maximum de valeur au point de chauffe, diminue-t-elle jusqu'au gueulard.

De grandes ouvertures de pénétration permettent d'approcher les foyers le plus près possible de l'axe pour éviter les déperditions de chaleur. Des hangars mettent à l'abri le chauffeur.

La même figure montre le plan au niveau du foyer et la disposition arrondie des carneaux de jonction avec la cuve,

pour obtenir une répartition des flammes aussi régulière que possible.

La coupe verticale est faite suivant la ligne brisée AB ; d'un côté elle vient couper un carneau et le conduit de jonction, de l'autre elle sectionne la maçonnerie d'entre-deux.

Il ne reste plus, pour compléter la description de ce four, qu'à imaginer à la partie haute, au niveau du gueulard, un plancher en charpente pour le chargement du calcaire avec couverture formée par un hangar, et des moyens d'accès pour ce calcaire, soit par un pont s'il vient d'une colline située vis-à-vis le four, soit par un plan incliné ou un monte charges si le calcaire vient du bas.

Les dimensions moyennes de ce four sont d'environ 4 m. pour le diamètre maximum de la cuve et de 10 m. pour la hauteur.

Le grand avantage que présentent les fours destinés à brûler spécialement des combustibles à longue flamme est de donner des chaux généralement très propres, le calcaire n'ayant pas été en contact avec le charbon.

438. Fours continus pour combustibles fixes ou à courte flamme. — Les fours continus ou coulants, destinés à cuire le calcaire avec des combustibles à courte flamme, comme le coke, les houilles fixes, les anthracites, sont disposés suivant un principe tout différent. Le combustible produit peu de gaz, mais rayonne beaucoup de chaleur, et ce rayonnement serait perdu dans des foyers éloignés du calcaire à cuire. Pour mieux utiliser sa chaleur on mélange directement le combustible avec la pierre à chaux sans craindre d'éteindre les flammes comme dans les cas précédents.

De là des fours organisés pour recevoir des couches alternatives de calcaire et de combustible ; celles de calcaire ont environ 0^{m}30 d'épaisseur, et celles de houille ou de coke, de 0,08 à 0,10 suivant la nature du combustible et la quantité minimum à employer, que l'expérience indique.

La fig. 728, représente un four pour combustibles fixes, en coupe verticale ; on voit qu'il a une forme inverse de celle des fours précédents : les plus petits diamètres à la partie infé-

rieure et le gueulard évasé. Cette disposition est prise pour obtenir un parallélisme constant des couches successives pendant la descente de la matière, malgré la disparition lente du combustible, et la diminution de volume qui en résulte, jointes à celle que donne le retrait du calcaire cuit.

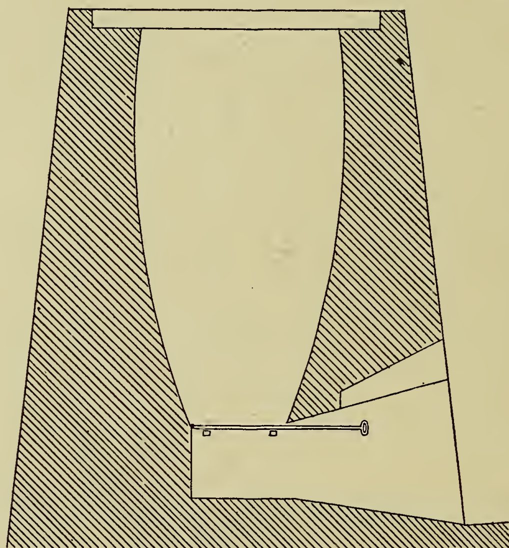


Fig. 728.

Pour mettre en route un four de ce genre on soutient sur des supports convenablement posés à la base de la cuve une grille formée de barreaux mobiles ; on charge ceux-ci de combustible, puis on met la première couche de calcaire. On ajoute les couches successives en alternance, en emplissant jusqu'au gueulard. Puis, dans le cendrier, on allume quelques fagots qui mettent le feu à la masse. Les premières couches de combustible s'enflamment et la combustion se propage de pròche en proche.

Lorsque la partie inférieure du calcaire est cuite, on procède à des extractions de chaux en enlevant la grille mobile, et laissant glisser la masse, tandis qu'au moyen du chargement de nouvelles couches au gueulard on maintient la cuve pleine. L'opération se continue alors indéfiniment.

L'expérience indique la hauteur pratique à laquelle doit se maintenir la combustion dans le four ; il faut qu'elle soit telle que l'air froid arrivant par le bas traverse une masse de chaux fabriquée suffisante pour avoir le temps de la refroidir, tout en s'échauffant lui-même à une température aussi élevée que possible, lorsqu'il arrive à la couche de charbon qu'il doit brûler.

La durée de marche d'un four de ce genre ne doit avoir pour limite que la durée que peuvent avoir sans réparations les matériaux qui le composent; on travaille donc sans désemparer, jour et nuit. Le four ne peut s'arrêter sans qu'il en résulte : 1° une perte de chaleur très considérable, et 2° la perte même de la matière qu'il contient. En effet, du calcaire cuit à moitié seulement perd ensuite très difficilement le restant de son acide carbonique.

Si par force majeure on est obligé d'arrêter le travail une journée, il faut s'opposer d'une façon absolue au refroidissement de la charge, et le meilleur moyen d'obtenir ce résultat consiste à boucher toutes les ouvertures avec des débris ou des menus de manière à intercepter complètement le passage des gaz. A la reprise du travail on dégage le four et il reprend son tirage mais son allure en est quelquefois dérangée pour quelque temps.

La marche régulière de l'opération, et par suite la valeur des produits obtenus dépendent totalement des soins et de l'expérience des ouvriers qui conduisent le four. Ils ont à vaincre la mauvaise influence de certains vents, à tenir compte de l'état du four. Ils doivent veiller à la régularité du cassage du calcaire, prévoir l'effet de son état hygrométrique, et faire varier la quantité combustible d'après la variation que peut présenter sa qualité.

Les grenailles, les cendres, les escarbilles non brûlées se trouvent dans ce four, mélangées à la chaux obtenue et en diminuent la valeur commerciale. Aussi, est-on obligé de faire un triage ou un tamisage ultérieur du produit.

Pour éviter cette main-d'œuvre, on a établi, au bas des cuves de certains fours à chaux, des grilles fixes inclinées, disposées de manière à ne pas intercepter l'extraction de la chaux, mais

la tamisant au passage pour enlever les impuretés dont nous venons de parler. Cette disposition est indiquée dans la fig. 729 représentant un four construit à Champigny par M. Leroy des Closages. Ce four a 6m50 de hauteur de cuve et 2m50 de diamètre intérieur ; il est construit d'une manière analogue au précédent. La chemise est séparée de la maçonnerie par un corroi en terre à four et sable mélangés, et la maçonnerie d'entourage est elle-même composée d'enveloppes successives séparées par de la terre sablonneuse bien damée.

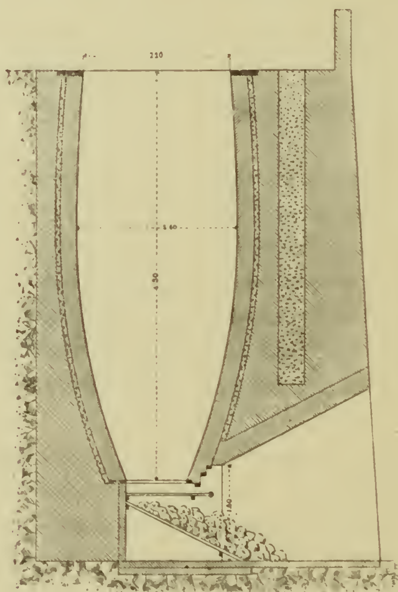


Fig. 729.

Les calcaires que l'on cuit à Champigny sont très durs, à grains très fins, et donnent de la chaux grasse, le combustible employé est le coke de la compagnie Parisienne du gaz, tout venant et menus. Le four représenté produit 9 mc. de chaux par jour, sans compter les poussières et les petites chaux. La chaux produite est très pure et sert aux usines chimiques, bougies, savons, etc., en même temps qu'aux travaux de construction du pays.

L'orientation d'un four n'est pas indifférente ; lorsque dans la localité où on le construit il y a un vent régnant, on a soin de lui opposer l'ouverture inférieur du four pour qu'il facilite le tirage.

On a fait des fours de bien plus grandes dimensions que les précédents lorsqu'on veut arriver à une grande production de chaux. Ainsi, à la Rocque-Genest, dans la Manche, on cite un four dont la cuve a 6^{m}00 de diamètre et 11^{m}00 de hauteur. Le massif du four occupe un plan carré de 14^{m}00. Des galeries inférieures sont percées régulièrement dans le bas du massif et donnent accès à 8 ouvertures de défournement. La cuve est munie inférieurement d'un cône droit qui sépare la matière dans la descente, et la guide sur les orifices d'où les hommes tirent continuellement la chaux fabriquée. Le combustible qu'on y emploie est de l'anthracite.

La production journalière d'un tel four est en moyenne de 35 à 40 tonnes et peut s'élever en activant l'allure à 50 ou 55 tonnes.

Les fours à chaux en activité laissent sortir au gueulard des gaz qui s'enflamment à l'air avec une légère couleur bleue, et dégagent en brûlant une grande quantité de chaleur. Ils sont composés, en effet, d'un mélange d'oxyde de carbone, d'azote et d'acide carbonique, et le premier de ces gaz est assez abondant pour que le mélange puisse s'enflammer à la sortie du four.

Voici comment on explique cette formation d'oxyde de carbone.

Au point du four où se fait la combustion il se produit de l'acide carbonique qui se joint à celui qui se dégage du calcaire ; puis ce gaz, passant sur des couches subséquentes de charbon déjà portées au rouge, se combine avec une nouvelle quantité de carbone.

Cet oxyde de carbone est gênant pour les ouvriers et peut leur causer des accidents mortels; de plus il emporte une grande quantité de chaleur, la plus grande partie de celle que peut dégager le combustible. En effet, on sait qu'un kilogramme de charbon se transformant, en brûlant, en acide carbonique donne 8000 calories, tandis que s'il donne de l'oxyde de carbone il n'en dégage que 2400 ; cet oxyde de carbone, en brûlant complètement restitue la différence, soit 5600 colories.

Aussi, a-t-on fait des fours dans lesquels on a disposé des carneaux supérieurs qui recueillent les gaz, soit pour s'en débarrasser, soit au contraire pour les utiliser à leur tour comme combustibles dans des appareils subséquents.

Pour recueillir ces gaz on munit le gueulard d'un couvercle qui le ferme et qui, en se soulevant au moment voulu, permet les chargements.

Le four à chaux représenté dans la fig. 730 présente cette disposition.

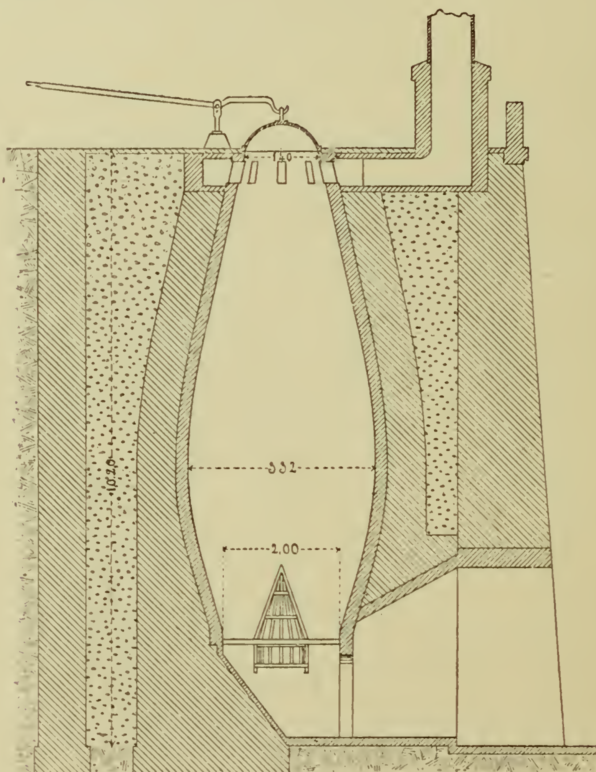


Fig. 730.

Le couvercle est mobile à la main et il ferme le gueulard aussi hermétiquement que possible ; une cheminée latérale, en communication avec un carneau de prise de gaz, enlève les produits de la combustion et débarrasse de leur présence, gênante pour les ouvriers.

Ce four, construit aux usines du Teil par MM. Pavin de Lafarge, présente encore une autre particularité. A sa base pour faciliter la pénétration de l'air à travers la masse de chaux incandescente, et lui permettre d'arriver en quantité suffisante sur les couches en ignition, on a remplacé le cône en maçonnerie dont il a été question dans le four précédent par un cône métallique à jour formant grille et présentant une surface suffisamment développée à l'accès de l'air.

Ce four des usines du Teil a 2 m. 00 de diamètre au bas de la cuve, 1 m. 40 en haut, et 3,32 au point le plus développé ; la hauteur est de 10 m. 00. On a construit depuis d'autres fours du même genre, plus grands, et ayant jusqu'à 15 m. 00 de hauteur.

On a essayé d'utiliser la chaleur produite par les flammes qui se développent au gueulard pour commencer à chauffer le calcaire à cuire, et obtenir ainsi une grande économie de combustible. Ainsi à Peymoreau (Deux-Sèvres), M. Devillaine a construit un four en deux parties, formant comme deux fours superposés. Dans le premier, le calcaire est cuit à la manière ordinaire, et sur le gueulard se trouve élevée une seconde cuve, que l'on remplit de calcaire et à travers laquelle passent les gaz enflammés du premier four.

Des ouvrages intermédiaires permettent de charger du combustible au gueulard du four inférieur, et aussi de faire tomber, venant de la cuve du haut la quantité de calcaire, déjà chaud, nécessaire pour la couche suivante :

On maintient de même la cuve supérieure continuellement pleine de calcaire.

Malgré ses avantages apparents, ce four ne s'est pas répandu.

La fig. 731, représente un four de construction récente de grande capacité. Il a 7 m. 70 à la base et 6 m. 60 près de la partie supérieure, une hauteur totale de 20 m. 00. Il a une capacité de 500 mètres cubes. Sa construction diffère totalement de celle des appareils précédemment décrits, la maçonnerie d'enveloppe est construite dans une caisse cylindro-conique en tôle de 0,008 d'épaisseur qui sert d'armature et de soutien. Cette maçonnerie a une épaisseur de 0 m. 60 environ. A l'intérieur

se trouve une chemise en matériaux très réfractaires de 0 m. 35 environ d'épaisseur. Un cône tronqué répartit la chaux cuite à la partie inférieure entre 8 orifices de défournement, tandis qu'au centre pénètre une galerie qui mène à un orifice d'allumage.

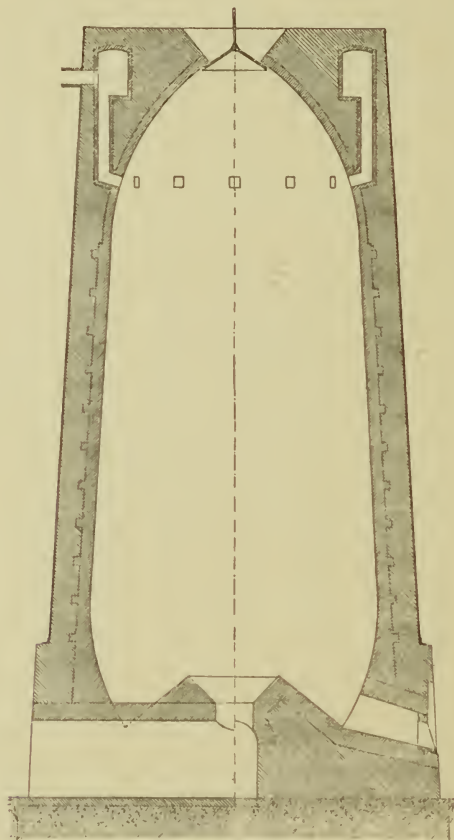


Fig. 731.

La partie supérieure est également très différente des dispositions employées jusqu'ici : 12 orifices de prise de gaz, absorbant les produits de la combustion, les conduisent dans une galerie circulaire qui débouche dans un carneau, et ce dernier doit les mener dans d'autres appareils où on les utilise.

Pour que cette prise de gaz fonctionne bien, il est nécessaire

que le four soit toujours complètement fermé, même pendant le chargement. Pour obtenir ce résultat, on a donné au gueulard une forme conique renversée formant trémie, et aboutissant à une ouverture inférieure de 1 m. 40 de diamètre.

Un cône mobile équilibré, suspendu à une tige verticale, ferme constamment l'orifice et vient s'appliquer sur le siège de la trémie.

Les wagons chargés soit de combustible, soit de calcaire versent leur contenu sur la trémie pour former les couches successives. Le cône sous leur charge s'affaisse, les laisse glisser et passer et reprend sa place, de telle sorte que le four est toujours fermé.

439. Fours à gaz. — Se basant sur ce que l'oxyde de carbone est un combustible qui contient en réserve la majeure partie de la chaleur que peut dégager le charbon, on a cherché à l'employer pour la fabrication de la chaux.

On le produit dans des foyers spéciaux appelés *gazogènes*, qui brûlent, avec une quantité insuffisante d'air, des charbons de qualité médiocre accumulés sur une grille en couches épaisses ; les produits de cette combustion, combustibles à leur tour, contiennent surtout de l'azote et de l'oxyde de carbone. On peut les conduire dans un four à chaux, formé d'une cuve rétrecie à la partie supérieure, et dont le défournement inférieur a lieu par le centre.

Les gaz brûlent en formant au pourtour de l'intérieur de la cuve une série de jets dirigés vers l'axe. Chacun d'eux est alimenté par une lame concentrique d'air chauffé préalablement par la chaleur perdue du four. Pour que la température s'égalise dans toute la section, on traverse le four au niveau des brûleurs par des tubes creux en fonte de forme appropriée, et qui contiennent également des jets de gaz. C'est le principe de construction des fours de MM. Leroy des Closages et Vigreux, qui donnent d'excellents résultats. On retire du charbon plus d'effet calorifique utile, et la chaux est obtenue très pure.

440. Consommation de combustible. — On compte d'ordinaire, par mètre cube de chaux produite, une dépense de

combustible de 1 stère 70 de bois de corde, 20 à 22 stères de fagots, 30 stères de fascines de genêt ou de bruyère, 3 hectolitres de charbon de terre ou de bois. Mais ce sont des consommations moyennes, qui s'atténuent dans les appareils bien établis.

441. Constructions aux abords des fours. — Le chaufournier a besoin d'un abri en avant de la porte du four, puis de hangars pour mettre la chaux au sec dès qu'on la retire de la cuisson, ce qui est surtout indispensable lorsqu'elle est livrée à la consommation à l'état de chaux vive.

Si la chaux devait être livrée en poudre, il faudrait des manipulations diverses, extinction, blutage, broyage, mise en sacs et en tonneaux, qui demanderaient un certain développement d'ateliers et de magasins.

Il est nécessaire également d'atteindre le gueulard et d'y faire arriver les matières qui doivent composer les chargements. De là, la construction de rampes d'accès de la hauteur des fours. Souvent ces rampes sont exécutées en terrassements ; d'autres fois on les remplace par des estacades en bois avec chemins de fer pour les wagonnets qui transportent les matières ; d'autres fois encore, on fait le montage des wagons au moyen de monte-charges verticaux.

Quand le terrain s'y prête, on adosse les fours à un escarpement du sol et on établit une terrasse au niveau du gueulard ; c'est à cette terrasse qu'aboutissent les rampes d'accès. On y trouve l'avantage d'accoter le four sur trois de ses côtés et de le mieux garantir des déperditions de chaleur dues au rayonnement. De plus ces travaux permettent d'établir à portée des amoncellements de matériaux dont l'extraction est faite d'avance.

442. La chaux grasse au point de vue commercial. — La chaux grasse se vend en morceaux tout venant, tels qu'ils sortent du four et sous forme de chaux vive. L'unité de mesurage est le mètre cube.

Cette matière a d'autant plus de valeur commerciale qu'elle est plus pure et qu'elle foisonne davantage.

Elle sert peu aux constructions, à moins qu'on n'ait de la Pouzzolane à lui mélanger pour lui donner des propriétés hydrauliques. Mais il y a nombre de grandes industries qui l'emploient par grandes quantités : sucreries, savonneries, fabriques de bougies, etc.

443. Fabrication de la chaux hydraulique. Calcaire seul. Calcaire et argile. — Lorsque les calcaires présentent naturellement la composition qui convient pour donner immédiatement à la cuisson de la chaux hydraulique, et ce cas est très fréquent, la préparation et la cuisson de ce produit sont identiques à celles qui ont été décrites pour la chaux grasse.

Si les calcaires ne conviennent pas naturellement, on a recours à la fabrication artificielle ; il faut faire un dosage exact des calcaires et de l'argile et obtenir un mélange assez intime pour que les combinaisons chimiques aient lieu. On y arrive de deux façons :

1° On peut broyer le calcaire et l'argile soit séparément, soit ensemble, les agglutiner avec la quantité d'eau strictement nécessaire pour en faire des briquettes, faire sécher et enfin cuire les briquettes dans un des fours cités précédemment.

2° On peut encore commencer par faire subir au calcaire une première cuisson qui le transforme en chaux, éteindre cette chaux et mélanger la poudre obtenue avec de l'argile, préalablement broyée. Enfin, on termine l'opération en agglutinant le mélange avec un peu d'eau, sous forme de briquettes que l'on soumet à un séchage et à une seconde cuisson.

Ce second procédé donne des produits de meilleure qualité, mais le prix de revient est plus élevé en raison de la quantité plus grande de combustible nécessaire à cette double cuisson, et aussi parce que la main d'œuvre est augmentée des difficultés de manipulation que présente la matière caustique entre les deux cuissons. On n'a avantage à appliquer cette méthode que lorsqu'on a affaire à des calcaires très durs qui exigeraient des frais de pulvérisation considérables.

Presque toujours on en revient au premier procédé qui varie un peu suivant les circonstances spéciales où on se trouve.

Ainsi, lorsque l'on dispose de calcaires tendres comme la craie, on commence par casser la matière de la grosseur des pierres à macadam, puis on les jette avec de l'argile dans une auge circulaire en pierre dans laquelle courent deux meules verticales, en fonte ou en granit, reliées à un axe vertical AB qui les commande, fig. 732. Cet axe reçoit lui-même le mouvement d'un moteur quelconque, une machine à vapeur par exemple.

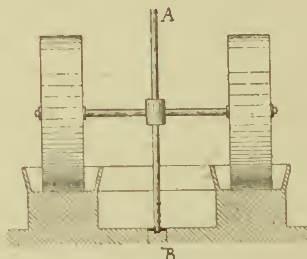


Fig. 732.

Des couteaux ramasseurs tournant avec le système, le long des parois de l'auge, y remuent la matière ; leur forme spéciale est étudiée pour leur faire ramener constamment celle-ci sous la partie travaillante des meules. Ces dernières sont animées à la fois d'un mouvement de roulement et d'un mouvement de glissement qui conviennent très bien à un broyage et à un mélange très intime des deux éléments. On facilite l'opération en ajoutant de l'eau en quantité convenable.

En ouvrant une vanne sur le côté et abaissant un couteau de forme appropriée, on fait sortir toute la pâte et on recommence une nouvelle opération.

La pâte liquide obtenue est recueillie dans des fosses ou bassins de décantation où on la laisse égoutter lentement. Lorsque le mélange a acquis la consistance convenable, au bout d'un temps généralement assez long, on l'enlève avec une sorte de louchet qui en découpe des pains réguliers ou briquettes que l'on porte sécher sous des hangars couverts et bien exposés. Enfin, lorsque la siccité complète est atteinte, on porte les briquettes aux fours de cuisson.

La fabrication de la chaux hydraulique artificielle est presque

partout abandonnée aujourd'hui. Pour le même prix ou un prix moindre, à cause de la réduction des frais de transport, on peut faire venir, souvent de très loin, la chaux hydraulique naturelle dérivant de calcaires convenables dont on a découvert dans bien des localités de nombreux et considérables gisements.

444. Extinction de la chaux hydraulique. — La chaux hydraulique, au contraire de la chaux grasse, est presque toujours vendue en poudre, et on obtient cette poudre par l'extinction. On étend d'abord la pierre cuite sortant du four sur une aire couverte d'un hangar ; lorsque l'épaisseur de la couche est de 0,15 à 0,20, on l'arrose légèrement, on la retourne, on l'arrose de nouveau, puis on met en tas sur une hauteur d'environ 2 m. L'expérience indique la quantité d'eau nécessaire et suffisante pour l'extinction.

Au bout de 4 ou 5 jours l'humidité s'est régulièrement disséminée dans la masse, et l'extinction de la chaux est uniforme et complète. La matière s'est pulvérisée, mais cette poudre n'est pas homogène et il y a toujours quelques parties ou mal cuites ou mal éteintes qui sont restées à l'état de pierre ; il est nécessaire de lui faire subir un tamisage, qui s'opère dans de grands tamis prismatiques inclinés, animés d'un mouvement lent de rotation et que l'on nomme des *bluteries*. Les matières qui ne sont pas assez fines pour passer à travers les mailles du tamis se dégagent séparément à l'extrémité basse ouverte du cylindre et se trouvent recueillies à part.

La chaux est mise ensuite en magasin jusqu'au jour de la vente. Ces magasins sont formés de murs en maçonnerie composant une série de chambres closes sur trois côtés. Il faut que les murs de la chambre soient épais, fortement chaînés et très solides, pour prévenir le gonflement possible de la chaux, gonflement qui a lieu surtout lorsqu'elle a été éteinte avec une quantité d'eau insuffisante la première fois.

445. Disposition d'une fabrique de chaux hydraulique. — Une des dispositions possibles les plus simples d'une fabrique de chaux hydraulique se trouve représentée dans la figure 733.

L'usine est adossée à une colline de laquelle on extrait le calcaire et ce dernier ainsi que le combustible nécessaire arrive sur une plateforme au niveau du gueulard des fours.

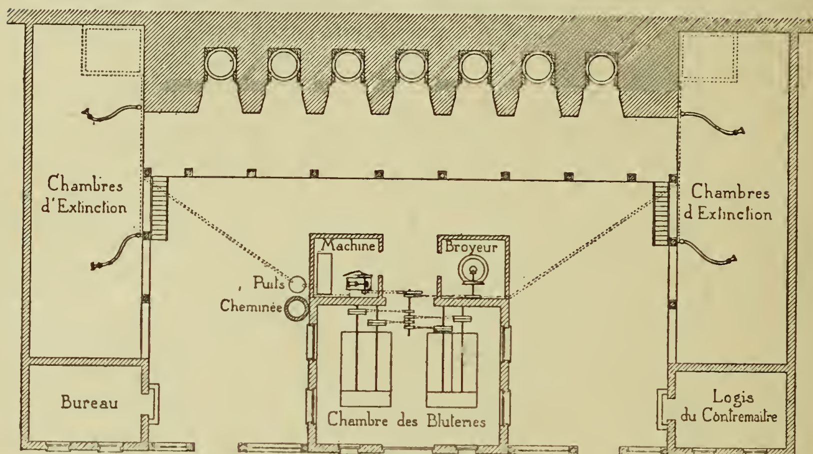


Fig. 733.

Les fours de cuisson sont en batterie, adossés au rocher, et un hangar vient couvrir à la partie basse l'espace nécessaire au défournement. Ce hangar permet de mener à couvert la chaux en morceaux dans deux bâtiments latéraux où se fait l'extinction, et au-dessus desquels se trouvent deux réservoirs d'eau représentés en ponctué. Enfin, à l'extrémité de ces bâtiments, on trouve d'un côté le bureau de l'usine, de l'autre le logis du contremaître.

La matière éteinte est menée à la chambre des bluteries située au premier étage du bâtiment situé au milieu de la cour, et la matière blutée tombe au rez-de-chaussée qui sert de magasin.

Les morceaux non suffisamment éteints et les grappiers sont passés dans un broyeur et la poudre qui en résulte repasse à la bluterie et se mélange avec la chaux tamisée.

La dimension des magasins est variable suivant les débouchés de l'usine et la plus ou moins grande régularité de la vente ; il est tels établissements où la chaux est fabriquée et expédiée de suite, et où la présence de magasins importants ne se fait nullement sentir.

La chaux en poudre est livrée, suivant les distances, soit en sacs, soit en tonneaux ; mais ce dernier mode d'emballage est plus onéreux et augmente le prix de la matière.

446. Fabrication des ciments romains. Opérations successives. — La fabrication des ciments varie beaucoup, suivant que l'on doit produire soit des ciments à prise rapide, soit des ciments à prise lente.

Lorsque l'on fabrique des ciments romains, on soumet la matière à la même série d'opérations que s'il s'agissait de chaux hydraulique, que le ciment soit obtenu par la cuisson de calcaires naturels, ou qu'il soit produit par des mélanges dosés.

Mais lorsque la pierre est cuite, l'extinction ne produirait pas la pulvérisation, il faut l'obtenir mécaniquement, au moyen d'une véritable mouture.

Les ateliers où se fait cette opération se nomment moulins, ils exigent un force considérable et sont mus à l'eau ou à la vapeur.

La plupart des moulins à ciments sont établis sur le même principe et la figure 734, donne la coupe verticale du bâtiment et des appareils qu'il contient.

La pierre cuite venant des fours entre dans l'usine par la porte de l'appentis. Elle passe par un premier appareil A, nommé concasseur, qui la broie grossièrement. On charge en wagonnet le résultat de cette première opération, un monte-charge élève le wagonnet sur le plancher B et on le bascule pour lui faire déverser son contenu dans une trémie en tôle C. De la trémie, au moyen des branchements D la matière se distribue à un certain nombre de trémies partielles E, ouvertes par le bas, à une petite distance de cuillers inclinées G, auxquels un mécanisme donne un mouvement brusque de va-et-vient qui fait glisser et sortir régulièrement la matière. L'inclinaison des cuillers, variable à volonté, permet de régler le débit de ces appareils. Chacun d'eux verse sa marchandise dans une paire de meules M, qui est l'appareil principal chargé du broyage plus fin. Au sortir des meules, la matière tombe dans des bluteries OO qui séparent la matière suffisamment

pulvérisée de celle qui est restée plus grossière et qu'il y a lieu de broyer à nouveau. La première est remontée à la par-

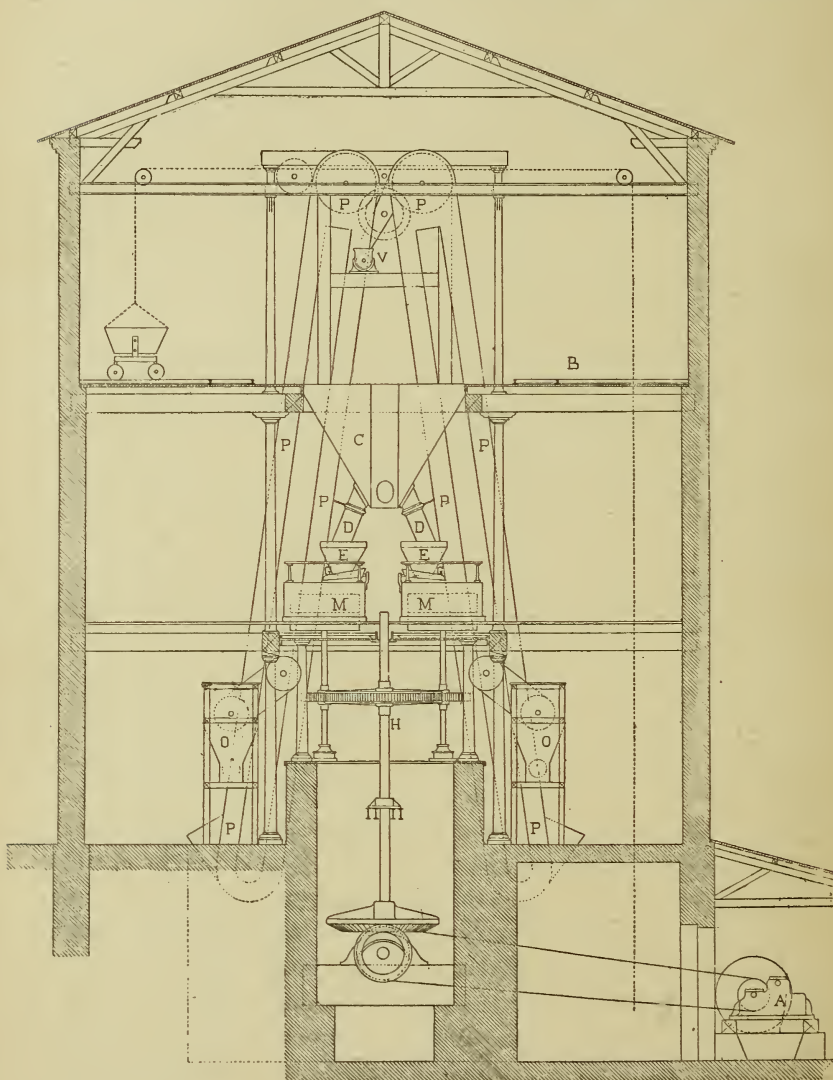


Fig. 734.

tie haute du bâtiment au moyen d'*élévateurs* PP, formés de chaînes à godets circulant dans des coffres en bois, et déversée

dans une vis V qui la mène dans un bâtiment voisin servant de magasin.

La matière à rebroyer est remontée de même par d'autres élévateurs identiques, placés derrière les premiers ; elle est reversée dans la trémie C, pour être repassée aux meules avec la matière nouvelle.

Le mouvement est donnée aux meules par un arbre central H, autour duquel elles sont ordinairement rangées en cercle, et l'arbre H commande les arbres des meules par une roue centrale dentée qui engrène avec une série de pignons. Le moteur est ou une roue hydraulique, ou plutôt une machine à vapeur.

L'ensemble de toutes les paires de meules, actionnées par un même arbre vertical, s'appelle *jeu de meules*. Il contient 3, 4, 6 paires de meules, et, quand on a une fabrication importante, l'usine peut comporter plusieurs jeux successifs.

Si maintenant on passe au détail de l'appareil principal de la mouture, on le trouvera représenté plus complètement dans la figure 735 qui donne la disposition spéciale d'une paire de meules.

Sur un plancher solide, généralement métallique, porté sur des colonnes spéciales pour être invariable et indépendant des planchers voisins, on établit une première meule A fixe que l'on nomme la *meule gisante*. Elle est percée d'un trou central pour laisser passer un arbre vertical C que l'on nomme *fer de meule* et qui reçoit le mouvement par le pignon D. Le fer de meule est monté sur pivot et est coiffé à sa partie haute d'une boîte en fonte qui supporte la seconde meule B. C'est la *meule tournante* entraînée par l'arbre C avec un mouvement rotatif de 200 tours par minute.

L'intervalle entre les deux meules n'est pas régulier, elles sont très écartées au centre et se rapprochent, presque à se toucher à la circonférence. Les surfaces qui se regardent portent des stries taillées suivant des règles précises et qui aident au broyage. Les matières entrent par le centre de la meule tournante, sont entraînées dans son mouvement de rotation, et, la force centrifuge aidant, à mesure qu'elles sont plus travaillées et plus fines elles se rapprochent de la circonférence dont elles s'échappent sous forme de poudre très ténue.

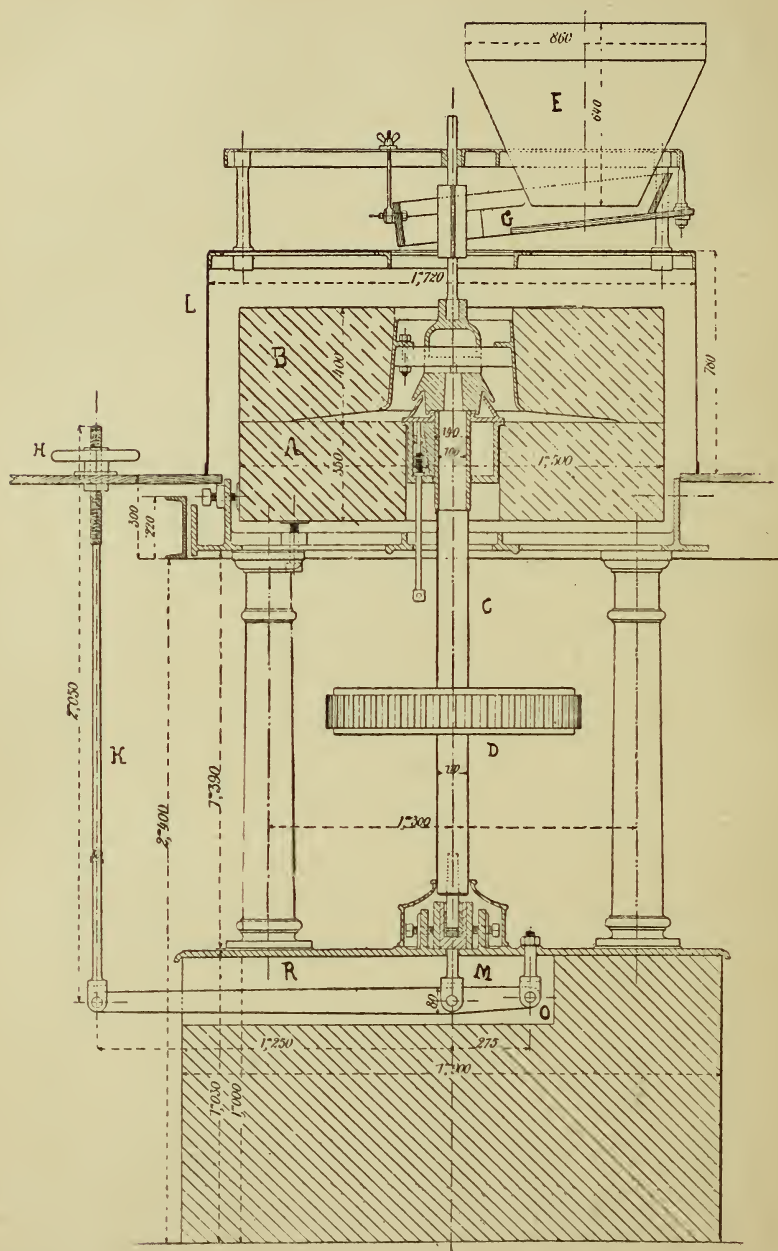

860
E
840
G
1,720
L
B
400
780
A
350
140
100
1,500
H
300
220
C
D
1,050
K
2,400
1,390
1,300
R
M
80
O
1,250
275
1,030
1,000

Fig. 735.

La finesse du produit dépend du rapprochement des meules et on se réserve la possibilité de le régler au moyen d'un *mouvement à soulever* composé d'un levier R articulé en O, portant en M la crapaudine du fer de meule et commandé par le volant H et la tige filetée K.

La paire de meules est enveloppée d'une *archure* I, boîte en bois ou en tôle de forme appropriée, qui retient la poudre fine, et au bas de laquelle un orifice permet la sortie de la matière moulue ; un ramasseur la reçoit et la mène aux bluteries.

Le fer de meule est prolongé au-dessus de la meule tournante et porte un arbre à cames ou à taquets destiné à secouer à chaque tour latéralement les cuillers G des trémies partielles. E et à faciliter la distribution du ciment.

447. Fabrication du ciment à prise lente. Matières à employer. — La fabrication du Portland, ou ciment à prise lente, diffère essentiellement de celle des ciments romains. Ici, il faut une fabrication très soignée, un dosage très exact des matières, un mélange d'une régularité absolue, enfin une cuisson opérée dans des conditions toutes particulières de température.

Il est rare de trouver naturellement des matières premières de composition convenable ; tantôt on a des calcaires presque purs auxquels toute l'argile est à ajouter, tantôt on possède des calcaires argileux auxquels de petits compléments d'argile sont seulement nécessaires, ou encore, par places, des calcaires trop argileux.

Ce dernier cas se présente dans la région du Boulonnais, où cette fabrication s'est largement développée. On y trouve d'immenses bancs de calcaire, mélangé naturellement d'argile, cette dernière variant d'un point à un autre dans la proportion de 15 à 25 pour cent.

Quelles que soient les proportions naturelles des matières dont on dispose, il faut pour les transformer en ciment arriver au dosage de 79 de calcaire et 21 d'argile ; il faut aussi que le calcaire et l'argile soient en contact intime, puis bien séchés, cuits à température convenable, et enfin broyés en poudre très fine.

Ces diverses opérations vont être passées rapidement en revue.

448. Mélange et dosage des matières. — Le procédé employé dans le Boulonnais consiste à délayer les matières avec la quantité d'eau convenable pour en faire une bouillie claire, et l'appareil dont on se sert en général est suffisamment robuste pour broyer complètement les parties les plus cohérentes ; il se nomme un *délayeur*.

Il est représenté dans la figure 736. Il se compose d'une cuve circulaire en maçonnerie d'environ 5^m00 de diamètre et 1^m00 de profondeur. Cette cuve à sa partie supérieure arase le niveau du sol. Dans son axe est disposé un arbre vertical en fer actionné mécaniquement par machine à vapeur et tournant à la vitesse d'une quinzaine de tours par minute ; il porte 6 à 8 bras horizontaux, s'équilibrant mutuellement deux à deux, et auxquels sont suspendues de fortes herses en fer et fonte qui sont entraînées rapidement dans le mouvement de rotation. On réunit tous ces bras par un cadre en bois où en fonte qui donne de la rigidité à l'ensemble, et au moyen de chaînes obliques on s'oppose à ce que la force centrifuge éloigne les herses du centre.

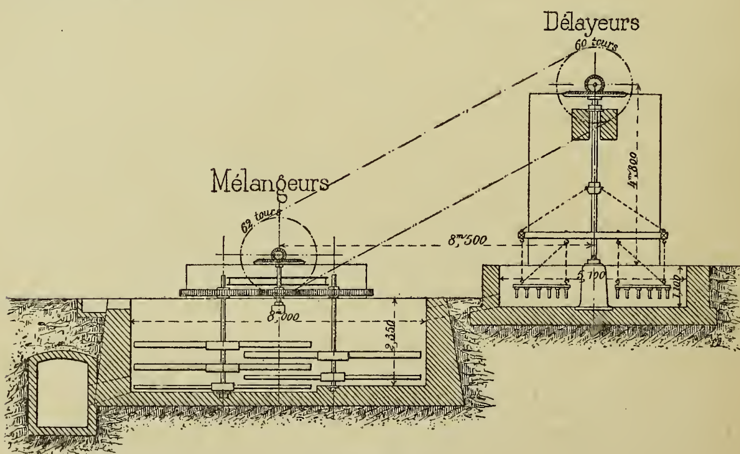


Fig. 736.

Une pompe amène l'eau d'un puits voisin ; on verse les ma-

tières à la brouette, calcaire et argile, et les herses déterminent dans leur mouvement un broyage et un délayage énergiques. Les matières non susceptibles de se délayer restent au fond de la cuve, et on les enlève de temps en temps.

Lorsque le broyage est suffisant, et que le produit est formé d'une boue claire à grains très réguliers et très fins, on lève une vanne et la boue s'échappe par un conduit qui la déverse dans des bassins inférieurs, appelés *mélangeurs* ou encore *bassins de dosage*, également représentés dans la fig. 736.

Les mélangeurs sont formés chacun d'une cuve oblongue en maçonnerie de $5^{m}00$ sur $8^{m}00$, composée en plan de 2 demi-cercles raccordés par des droites. Deux arbres verticaux placés aux centres des demi-cercles portent des palettes horizontales qui se croisent, et tournent avec une vitesse d'une douzaine de tours. Il forment de puissants agitateurs chargés de maintenir la boue en suspension parce qu'il est essentiel d'avoir un liquide bien homogène.

C'est dans cet appareil que l'on prend les échantillons de la matière, grossièrement dosée à la brouette, pour en faire des analyses exactes, et, d'après la composition accusée, on y ajoute, venant d'un délayeur voisin, soit de la boue plus calcaire soit de la matière plus argileuse, jusqu'à ce que l'analyse indique la composition normale.

On envoie alors la cuvée dans des bassins *de dépôt* ou *de décantation*.

La fig. 736 montre en ponctué la sortie de la pâte de la cuve du mélangeur, ainsi que la galerie qui enlève la pâte dosée.

La fig. 737 donne en plan la disposition d'ensemble de ces appareils; d'ordinaire un délayeur correspond à 2 mélangeurs et ces derniers sont accolés les uns aux autres pour tenir moins de place et exiger moins de maçonnerie, les cloisons de séparation devenant communes. Cette figure montre en même temps la conduite de décantage, qui permet au moyen de vannes convenablement distribuées de faire passer dans le premier mélangeur venu tout ou partie de la matière fabriquée dans un délayeur donné.

Cette même figure donne le tracé d'une disposition possible d'une transmission disposée pour commander tous ces appa-

reils ainsi que la pompe chargée de les alimenter avec l'eau tirée du puits.

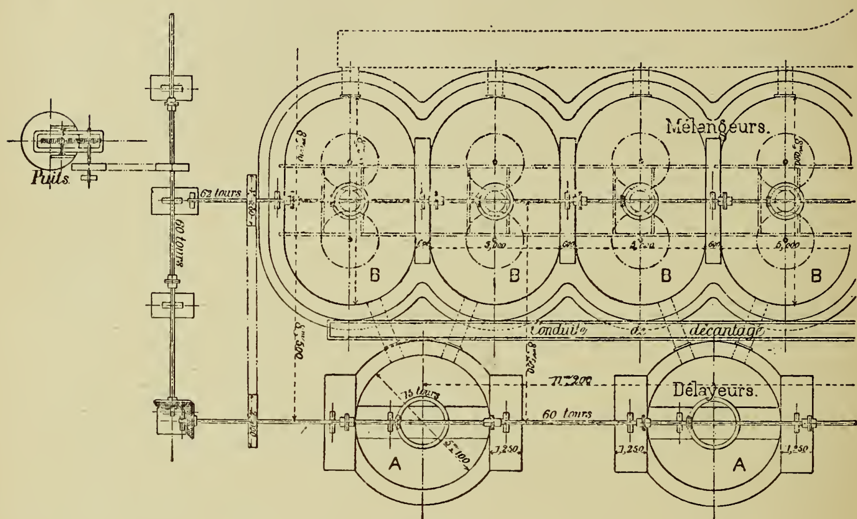


Fig. 737.

On compte environ une force de 15 chevaux par 40 à 50 tonnes de matières traitées par jour dans ces appareils ; mais rien ne peut être précisé à ce sujet, le travail demandé étant variable avec la nature, la cohésion, la difficulté de délayage que présentent le calcaire et l'argile dont on dispose.

149. Décantation et séchage. — Dans beaucoup d'usines, les boues dosées se rendent dans de vastes bassins de dépôt ou de décantation établis en plein air et qui ont environ 1 m. 00 de profondeur. Elles se répandent et se déposent par couches horizontales, et des vannes convenablement disposées donnent issue aux eaux limpides. On établit ainsi une série de bassins à côté les uns des autres, que l'on remplit successivement. Au bout d'un à deux mois d'égouttage, les matières ont pris une consistance épaisse et solide qui permet de les couper à l'outil. Avec une sorte de louchet on les retire en forme de briquettes, en découpant le tas par tranches verticales, ce qui assure la régularité absolue du dosage en faisant disparaître les très légères variations des couches successives.

Les briquettes sont portées aux bâtiments de séchage. Ces derniers sont d'ordinaire disposés comme ceux des briqueteries, et destinés à abriter la matière de l'eau de pluie tout en l'exposant à des courants d'air favorables. On oriente en conséquence les bâtiments de séchoirs pour qu'ils soient traversés par les vents les plus fréquents de la localité.

Dans d'autres usines on achève la dessiccation sur des aires chauffées par la chaleur de foyers spéciaux. La fig. 738 donne une idée de la disposition de ces séchoirs : des carneaux allongés au moyen de chicanes font circuler la fumée sous la surface de l'aire de séchage, formée par des plaques de tôle ou de fonte jointives. La fumée se refroidit en échauffant ces surfaces, qui à leur tour transmettent leur chaleur aux briquettes et les sèchent. On remplace toutes les fois qu'on le peut le chauffage des foyers directs par l'emploi de chaleurs perdues dont on trouve ainsi l'utilisation. Ces chaleurs perdues peuvent venir soit de la fabrication du coke qui sera nécessaire pour la cuisson, soit des fours même de cuisson.

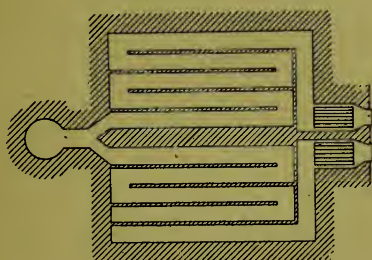


Fig. 738.

450. Affleurage de la pâte. — Dans quelques usines on cherche à améliorer la fabrication en rendant plus intime le mélange des matières avant qu'elles ne viennent se déposer dans les bassins de décantation. La pâte, au sortir des bassins de dosage, est triturée dans un véritable moulin pourvu de meules horizontales entre lesquelles on la fait passer et qui pulvérisent d'une façon impalpable les parties grossières qu'elle contient encore. Lorsque la pâte est ainsi affleurée, et par cela même plus apte à faciliter les combinaisons chimiques, on l'envoie à la décantation, et le reste de la fabrication se fait comme il a été dit ci-dessus.

451. Autre procédé de fabrication. — Dans quelques

usines on suit un procédé de fabrication différent ; on opère pour ainsi dire par voie sèche. On obtient en utilisant des chaleurs perdues la dessication du calcaire et de l'argile et on les passe dans un premier moulin garni de concasseurs et de meules, qui les triturent séparément en poudre impalpable.

On mélange ces poudres à sec en proportions convenables, déterminées par des dosages répétés, et on y ajoute la quantité d'eau strictement nécessaire pour les agglomérer et en former des briquettes. Une compression plus ou moins énergique aide à cette fabrication, puis les briquettes sont séchées et alors prêtes à la cuisson.

452. Cuisson du ciment de Portland. — Après le dosage, la cuisson est pour la fabrication du Portland l'opération qui demande le plus de soins. Il est nécessaire de chauffer bien régulièrement la masse et de pousser le feu jusqu'à obtenir la température nécessaire pour fritter la matière, c'est-à-dire obtenir un commencement de fusion à la surface des morceaux, et cependant il ne faut pas que cette fusion s'accentue sous peine d'un grand déchet.

L'emploi de fours coulants à cuisson continue ne conviendrait pas dans ce cas : il ne permettrait pas une régularité ni une surveillance assez grandes ; de plus, les matières commençant à fondre se colleraient ensemble et ne pourraient descendre comme la chaux ordinaire.

On a donc forcément recours aux fours intermittents et on leur donne la forme représentée fig. 739. Ce sont de véritables fours à chaux de 4 m. 50 à 5 m. 00 de largeur maximum de cuve, et dont le diamètre va en se rétrécissant jusqu'à la grille inférieure placée dans l'axe.

Une voûte formant pénétration permet d'accéder à l'orifice de défournement R.

La cuve est établie dans un massif en maçonnerie, carré, de forte épaisseur et convenablement armé de tirants en fer.

Cette maçonnerie renferme une double chemise en briques, celle qui forme la paroi intérieure du four étant formée de matériaux très réfractaires, et la suivante, de briques plus ordinaires.

Le combustible employé pour la cuisson est le coke ; il permet d'obtenir la température très élevée qui est absolument nécessaire. On commence à en étaler une première couche sur la grille puis on met une couche de calcaire et on continue ainsi jusqu'à la ligne M N. Le four étant plein, on allume avec

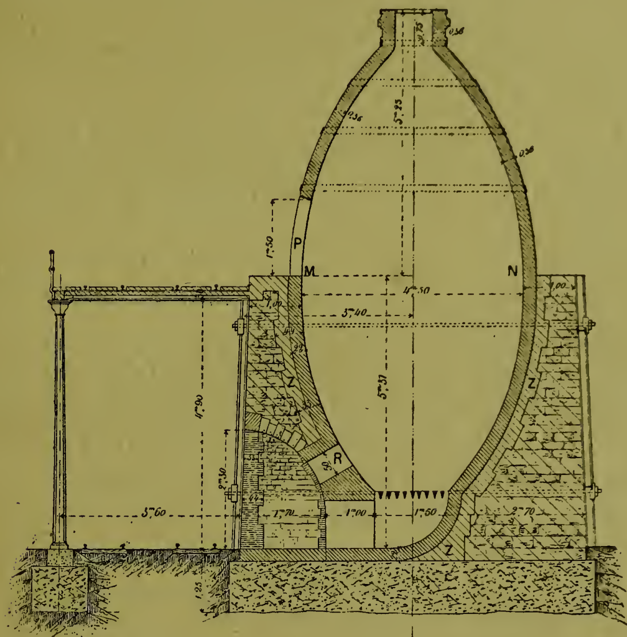


Fig. 739.

quelques fagots mis sous la grille le coke inférieur et, le tirage du four faisant le reste, la combustion se propage de proche en proche jusqu'à la partie haute.

Le coke est loin d'être utilisé complètement, car il se transforme en oxyde de carbone qui brûle à la partie haute du four. Pour éviter le refroidissement des couches supérieures, en même temps que pour refléter sur les matières la chaleur rayonnante, et débarrasser les ouvriers de l'oxyde de carbone, on surmonte les cuves d'une voûte de même forme mais renversée que l'on nomme *calotte* ; de là le nom de *fours à calotte* donné à ces appareils. Ces calottes présentent encore l'avantage de soustraire l'allure du four à l'influence des vents, elles

sont munies de portes P, pour permettre le chargement et la surveillance. Ces calottes ont ordinairement 0,36 d'épaisseur et sont faites en briques réfractaires et garnies d'une couverte en ciment.

Pour augmenter la production, à mesure que la cuisson détermine des affaissements dûs à la disparition du combustible, on charge de nouvelles couches alternées, de telle sorte qu'en fin de compte lorsqu'on arrête le four il est plein de pierre cuite. On le laisse refroidir et on défourne.

Dans les usines importantes, on met un certain nombre de fours en ligne et on adosse leurs massifs, ce qui procure une économie notable de construction. On établit une plate-forme au niveau du haut des cuves, et on la garnit d'une voie ferrée pour l'arrivée des matières à traiter. Une autre voie ferrée est établie au niveau du sol pour l'enlèvement des pierres cuites.

La grande quantité de combustible dépensée a fait chercher depuis bien longtemps les moyens d'utiliser la majeure partie de ce qui se trouve perdu (chaleur emportée par l'oxyde de carbone). On a fait des fours analogues à celui de la fig. 731, formant en même temps gazogène et où l'oxyde de carbone, recueilli par un carneau convenablement disposé à la partie haute du four, était mené à d'autres appareils, notamment à des fours à séchage qui utilisaient sa valeur comme combustible. En Angleterre on a fait servir directement les chaleurs perdues au séchage des pâtes, dans de longues galeries superposées aux fours et exécutées soit en fonte soit en maçonnerie.

La fig. 740 représente un four ainsi organisé. La calotte est remplacée par une longue galerie, d'environ 30 mètres, aboutissant à un carneau muni d'une grande cheminée spéciale pour déterminer le tirage. Cette galerie a comme largeur la largeur du four. On y amène les briquettes encore mouillées, et la surface de la galerie est calculée pour contenir tout le calcaire nécessaire à la charge complète ultérieure du four. On n'allume le four pour une opération que lorsque la galerie contient les briquettes nécessaires à l'opération suivante.

On a même songé dans d'autres cas à convertir la galerie en un véritable bassin de dépôt à y faire le décantage au moyen d'un ruisseau sur le côté et de vannes disposées sur la longueur.

Ces dispositions ne semblent pas avantageuses, en ce qu'elles doivent modifier l'allure du four, sont compliquées, et ne présentent pas les conditions nécessaires pour brûler convenablement l'oxyde de carbone, seul moyen d'utiliser toute la chaleur du combustible.

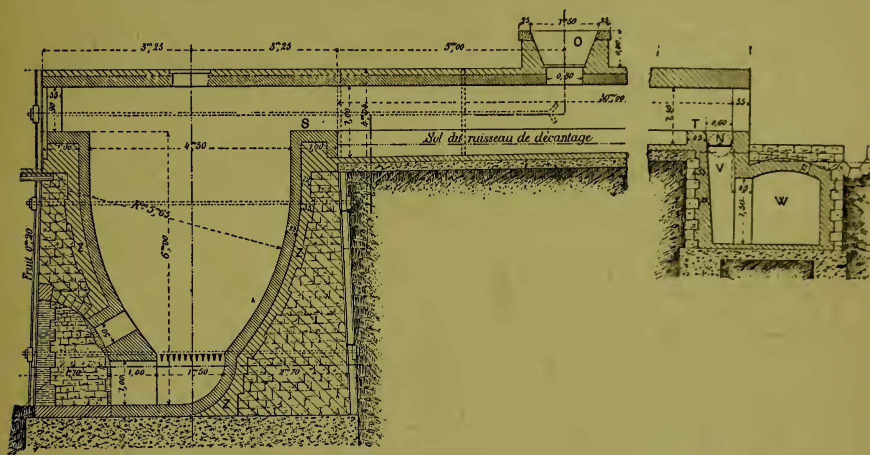


Fig. 740.

La substitution à ces fours des fours continus tels que celui d'Hoffmann, qui sera décrit ultérieurement pour la cuisson des briques, paraît être la vraie solution de la cuisson économique, méthodique et réglée des ciments de Portland, surtout quand sera résolue la question du chauffage de ces fours par le gaz oxyde de carbone produit dans des gazogènes spéciaux.

Quelques fabriques de chaux obtiennent en pulvérisant leurs grappiers trop cuits une sorte de ciment à prise lente ayant des propriétés approchant des ciments précédents, lorsque la composition est suffisamment forcée en argile. On nomme ces ciments des *ciments de grappiers*; ils ne sont que l'annexe de la fabrication, mais malgré cela se produisent en quantités notables.

453. Triage et pulvérisation. — Le défournement du Portland, dans les fours à calottes, se fait en démontant la grille et laissant tomber la matière ; on l'aide au besoin avec un ringard que l'on manœuvre par l'orifice R. Le ciment est

chargé au wagonnet, après un triage préalable à la main qui sépare avec soin les *incuits* d'une part, qu'on reconnaît à leur légèreté relative, et, d'autre part, les matières fondues, que l'on nomme *laitiers* et que quelques usines traitent à part pour les mélanger ensuite au produit. On n'est pas encore fixé sur leur influence dans la qualité de l'ensemble.

La matière chargée sur wagon est menée au moulin pour y être réduite en poudre fine. Les appareils sont d'ordinaire les mêmes que ceux qui ont été décrits plus haut pour la pulvérisation des ciments à prise rapide. On commence par faire passer les morceaux de ciment dans un concasseur donnant une poudre grossière que l'on crible à travers une grille calibrée, les parties restées trop grosses subissant un second concassage. Les produits fins, ayant l'apparence de poussier, sont montés dans la trémie des meules, réduites en farine et blutés dans des toiles à mailles très serrées.

454. Magasinage, emballage. — Le ciment doit rester un certain temps en magasin avant d'être expédié, afin de réduire sa vivacité de prise. On le conserve dans des magasins appelés souvent *garennes* où il s'accumule en sortant des bluteries, et ce n'est qu'au bout d'un certain laps de temps, variable suivant la nature et les propriétés du ciment, qu'on le met en barils ou en sacs pour l'expédier. Comme pour la chaux, il faut prévoir que les murs des garennes peuvent être fortement poussés par le gonflement du ciment, et leur donner des dimensions correspondant à une grande stabilité, si l'on doit leur adosser le ciment. D'autres fois on le met dans de grands hangars en évitant avec grand soin que les tas n'atteignent les parois.

455. Ciment de laitier. — On peut classer parmi les ciments à prise lente le ciment de laitier, produit nouveau qui tend à s'introduire dans la construction tous les jours davantage et y rendre les mêmes services que le Portland. Il est employé depuis plusieurs années à l'étranger, en Angleterre et en Allemagne principalement ; en France on en est encore aux essais.

Les hauts fourneaux qui servent à la fabrication de la fonte donnent sous le nom de *laitiers* des résidus très encombrants qui en sortent en grande quantité sous forme vitrifiée, à l'état liquide ou plutôt pâteux. Leur composition est variable suivant les minerais, et les fondants qu'on leur a ajoutés : ils sont tantôt acides, tantôt basiques, et les laitiers basiques sont ceux qui paraissent se prêter le mieux à la fabrication du produit nouveau.

L'analyse de ces laitiers donne pour leur composition.

Chaux.	30 à 50
Silice.	30 à 35
Alumine. . . .	15 à 22

Elle se rapproche donc de la composition des ciments à prise lente qui est comme on l'a vu précédemment :

Chaux.	60 à 65
Silice.	21 à 25
Alumine. . . .	5 à 10

Il suffit d'ajouter aux laitiers une proportion plus ou moins forte de chaux pour obtenir une composition équivalente.

Non seulement il faut mettre les diverses matières en présence, dans les proportions voulues, mais encore il faut qu'elles se trouvent dans l'état le plus favorable aux combinaisons chimiques ; l'expérience indique que les laitiers doivent être très finement pulvérisés, puis mêlés à la chaux grasse éteinte, puis ensuite broyés et affleurés de nouveau ensemble sous forme de farine impalpable. Les fabrications de ce genre (celles qui ont donné un résultat favorable) présentent un produit qui ne laisse qu'un déchet de 20 °/₀ sur un tamis de 5000 mailles par c. m². et 8 à 10 °/₀ sur un tamis de 900 mailles.

La fabrication des ciments de laitiers n'est pas encore très fixée. Les opérations qui paraissent jusqu'ici donner les meilleurs résultats sont les suivantes :

Il faut diviser les laitiers ; pour cela au sortir des fours pendant qu'ils sont encore liquides et à la température rouge

on les arrose avec de l'eau pulvérisée; les laitiers s'étonnent et se granulent et on les met en tas. On a remarqué que cette granulation exhalte la faculté hydraulique de cette matière. Les laitiers granulés donnent de meilleurs produits que ces mêmes laitiers refroidis d'eux-mêmes et pulvérisés.

La matière granulée est ensuite passée au moulin, puis séchée complètement.

On la fait passer dans un second moulin qui l'affleure à l'état sec et on régularise le grain par le blutage. C'est alors que l'on ajoute la chaux grasse éteinte et blutée dans les proportions qu'indique l'analyse, et on procède à un nouveau broyage des matières mélangées.

Cette opération se fait dans un appareil spécial appelé *machine à homogénéiser* : qu'on s'imagine un cylindre horizontal très solide, garni intérieurement de plaques en fonte cannelées, et mobile autour de son axe ; on y met la matière à traiter, on y ajoute une grande quantité de petites billes en fonte de $0^{m}025$ à $0^{m}035$ de diamètre, on ferme l'ouverture et on fait tourner lentement. Au bout de deux heures, par l'effet des chocs multipliés des boulets entre eux et sur les parois, on obtient un produit régulier d'une finesse beaucoup plus grande que celle que donnent les meules dans les pulvérisations de ciments citées plus haut. C'est cette poudre qui passe presque entièrement par un tamis de 5000 mailles par centimètre carré.

L'opération terminée, on ouvre une porte qui livre passage au ciment alors qu'une grille retient les boulets.

L'analyse complète d'un ciment de laitier comparé au Portland anglais a conduit du tableau suivant [1].

1. Voir pour cette fabrication : *une notice* de M. Prost, un article de M. Grosclaude dans le *Génie civil*, une note de M. Lebel dans le même recueil, une étude de M. Tetmayer dans *Shweizerische Bauzeitung*, et un article de M. Joinard dans l'*Encyclopédie de l'architecture et de la construction.*

Analyse d'un ciment de laitier

	Laitier de Cleveland 75 0/0	Chaux éteinte 25 0/0	Ciment de laitier 100 0/0	Portland anglais
Chaux	24.43	15.25	39.68	61.07
Carbonate de chaux	»	4.07	4.07	»
Silice	24.00	0.34	24.34	21.70
Alumine	18.56	0.18	18.74	8.60
Oxyde de fer	0.27	0.14	0.41	2.25
— de manganèse	0.23	»	0.23	»
Magnésie	6.52	0.07	6.59	1.17
Potasse	0.28	»	0.28	0.75
Soude	0.44	»	0.44	0.42
Acide carbonique	»	»	»	0.80
Soufre	0.93	»	0.93	»
Acide sulfurique	»	0.25	0.25	1.93
Eau	»	4.70	4.70	0.56
Sable	»	»	»	0.70

Les matières premières à bas prix, et la faible manipulation exigée, permettent de livrer des ciments de laitier à des prix inférieurs à ceux des ciments à prise lente.

En Angleterre ils valent 25 fr. alors que le Portland y coûte 33 fr. la tonne. De plus ils sont plus légers et pèsent 1050 kilog. environ le mètre cube alors que le Portland pèse 1200 à 1300 kilog. (non tassé).

D'après des expériences faites en Angleterre ils semblent supérieurs aux Portland comme résistance, font prise plus lentement, mais demandent peut-être plus de soins qu'eux dans l'emploi.

Si le ciment est pur, il se crevasse à la surface. Mais dans le mortier de 1 de ciment pour 3 de sable on n'observe aucun fendillement. Pendant la prise il fixe une quantité d'eau allant

en croissant pendant un certain nombre de jours ; aussi, employé à l'air, est-il nécessaire de le maintenir couvert et humide pendant une semaine au moins pour que l'eau ne vienne pas à manquer, ce qui entraverait la prise.

Le durcissement est plus lent que celui du Portland, mais il se produit pendant un temps plus long, et en fin de compte il est plus grand.

§ 3

ESSAIS DES CHAUX ET CIMENTS

456. Méthodes et appareils. — Il est important, soit dans les usines de fabrication, soit dans les grands chantiers de construction, de se rendre compte de la qualité des chaux et ciments qu'on emploie, et ces essais sont surtout utiles pour les ciments à prise lente, qui tendent à remplacer les ciments romains dans toutes leurs applications. Les expériences sont analogues à celles que l'on fait sur les pierres naturelles de construction ; seulement, ici, il est indispensable pour juger la cohésion que devra prendre le produit, non seulement de rechercher la résistance de rupture à l'écrasement, mais encore de se rendre compte des effets d'arrachement qu'ils peuvent subir.

Les blocs que l'on prépare pour ces deux genre d'essais ont des formes différentes.

Pour les expériences d'écrasement, on prend des cubes de 0,05 de côté,

On les prépare dans des moules à alvéoles multiples, bien calibrées, ouvertes en dessus et en dessous, Ces moules, exécutés en bois ou mieux en métal,ont la forme représentée par la fig. 741. Pour faire le moulage des échantillons on pose le moule, huilé préalablement, sur une surface unie, on emplit du mortier à essayer les alvéoles à la truelle, sans appuyer, et on laisse prendre après avoir affleuré la surface avec soin. La

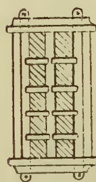


Fig. 741.

composition du moule permet d'enlever les goupilles qui tiennent les traverses extrêmes et, le tout se démontant, on peut démouler sans secousses.

Ce n'est qu'après environ 24 heures d'emploi, lorsque le ciment est pris, que l'on peut retirer les cubes. Il faut mettre un ordre extrême dans ces expériences lorsque l'on fait ainsi des essais suivis et comparatifs, et noter bien exactement la date de fabrication et la composition de chaque cube.

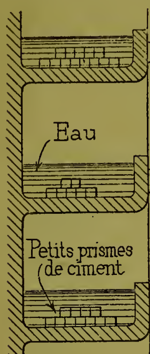


Fig. 742.

On conserve les cubes soit à l'air, dans un endroit concentré et humide, pour éviter une dessiccation trop rapide, soit dans l'eau, suivant le genre d'expériences qu'on se propose de faire. Lorsqu'on veut les conserver dans l'eau, on construit le long d'un mur, en mortier de ciment, une série de tablettes disposées en forme de petits bassins creux. On les divise en compartiments et on les numérote pour faciliter la notation des essais ; la fig. 742 donne la coupe de ces tablettes.

Pour les expériences à la traction, on emploie ordinairement des briquettes de 0,04 d'épaisseur, ayant une des deux formes représentées figure 733 ; soit la forme rectangulaire, soit la forme arrondie avec partie rétrécie à 0,04 au milieu, de sorte que la section minimum soit de 0,04 × 0,04 ou 0,0016.

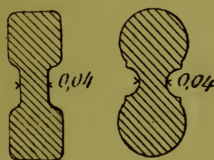


Fig. 743.

Le principe de la fabrication des briquettes est le même que précédemment, seulement on n'en fait qu'une à la fois. Mêmes précautions et même facilité de démontage du moule pour retirer les briquettes. La fig. 744 donne la disposition du moule.

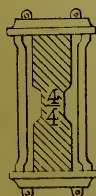


Fig. 744.

On ne s'astreint pas absolument à ces dimensions. Voici, fig. 745, un moule employé à l'usine de Frangey et qui donne des échantillons dont la section de rupture a pour dimensions 0,02236 sur 0,02236 ; soit une section de 0,0005.

Le moule est composé de deux moitiés en métal *m* qui se jonctionnent exactement au moyen de deux goupilles *g*, vissées dans l'une des pièces, et passant librement, mais sans jeu, dans des trous percés dans les oreilles de la seconde ; le tout est serré par un ressort *r* qui maintient suffisamment l'appareil

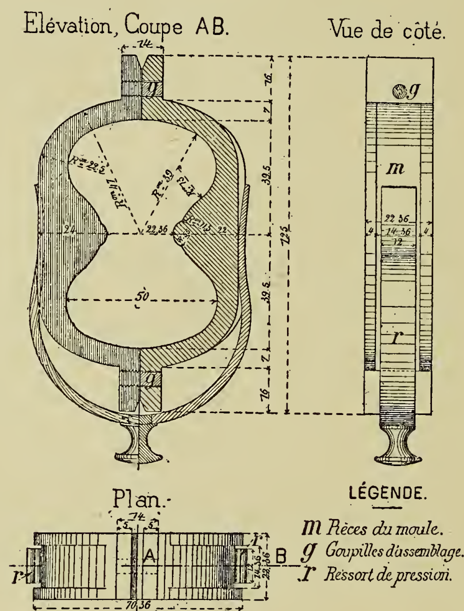


Fig. 745.

pendant le moulage et permet un démoulage instantané dès que le ciment est pris. Les branches du ressort viennent appuyer sur le milieu de l'épaisseur du moule et deux saillies extérieures

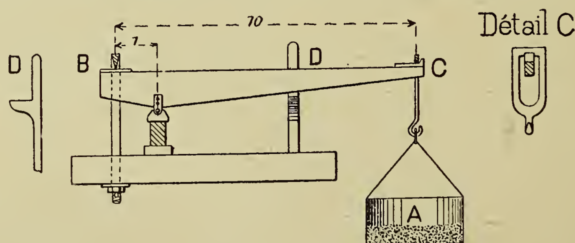


Fig. 746.

limitent sa position et l'empêchent de se déranger, tout en facilitant sa mise en place.

Le principe des essais à la compression est indiqué dans la fig. 746.

Le cube est placé sur la table d'expériences et disposé sur un support de forme convenable pour présenter une assiette bien dressée et régulière. Sur le cube, par l'intermédiaire d'un chapeau également dressé, vient appuyer un levier BC ; ce dernier est retenu en B par un couteau renversé relié à la table, et tiré en C par un plateau en forme de caisse A, dans lequel on met du sable ou de la grenaille. Le détail C montre le mode d'attache du plateau, tandis que le détail D montre de côté le guide D, muni d'un arrêt pour limiter la course du plateau. Les bras du levier décuplent l'effort que produit le plateau. Lorsque l'on met un cube en expérience dans l'appareil, on commence par poser sur le plateau un poids inférieur à celui qui produit la rupture, puis on fait couler lentement du sable ou de la grenaille jusqu'à ce que l'écrasement se manifeste. On pèse le plateau A et en multipliant par 10 on a l'effort qui a déterminé l'écrasement. Puis, divisant par la section ce premier résultat, on a la charge par centimètre carré qui a amené la rupture. Pour juger ainsi un ciment il faut opérer sur un certain nombre d'échantillons et prendre la moyenne des résultats.



Fig. 747.

Pour les essais à l'extension, l'appareil est de la même simplicité et représenté fig. 747. A un point d'appui supérieur est suspendue par une chaîne une griffe en fer, bien construite suivant la forme de l'échantillon et le soutenant régulièrement. Une seconde griffe identique, mais renversée, est suspendue à la partie basse de ce même échantillon et soutient un plateau caisse A, sur lequel on met des poids, plus une charge additionnelle de sablon ou de grenaille. Il faut arriver à mettre exactement le poids nécessaire pour produire la rupture pour avoir la résistance par centimètre carré.

MM. Quillot ont exposé en 1878 une machine à faire ce genre d'essais, qui est d'une exactitude convenable et d'une grande commodité en pratique; elle est representée par la fig.

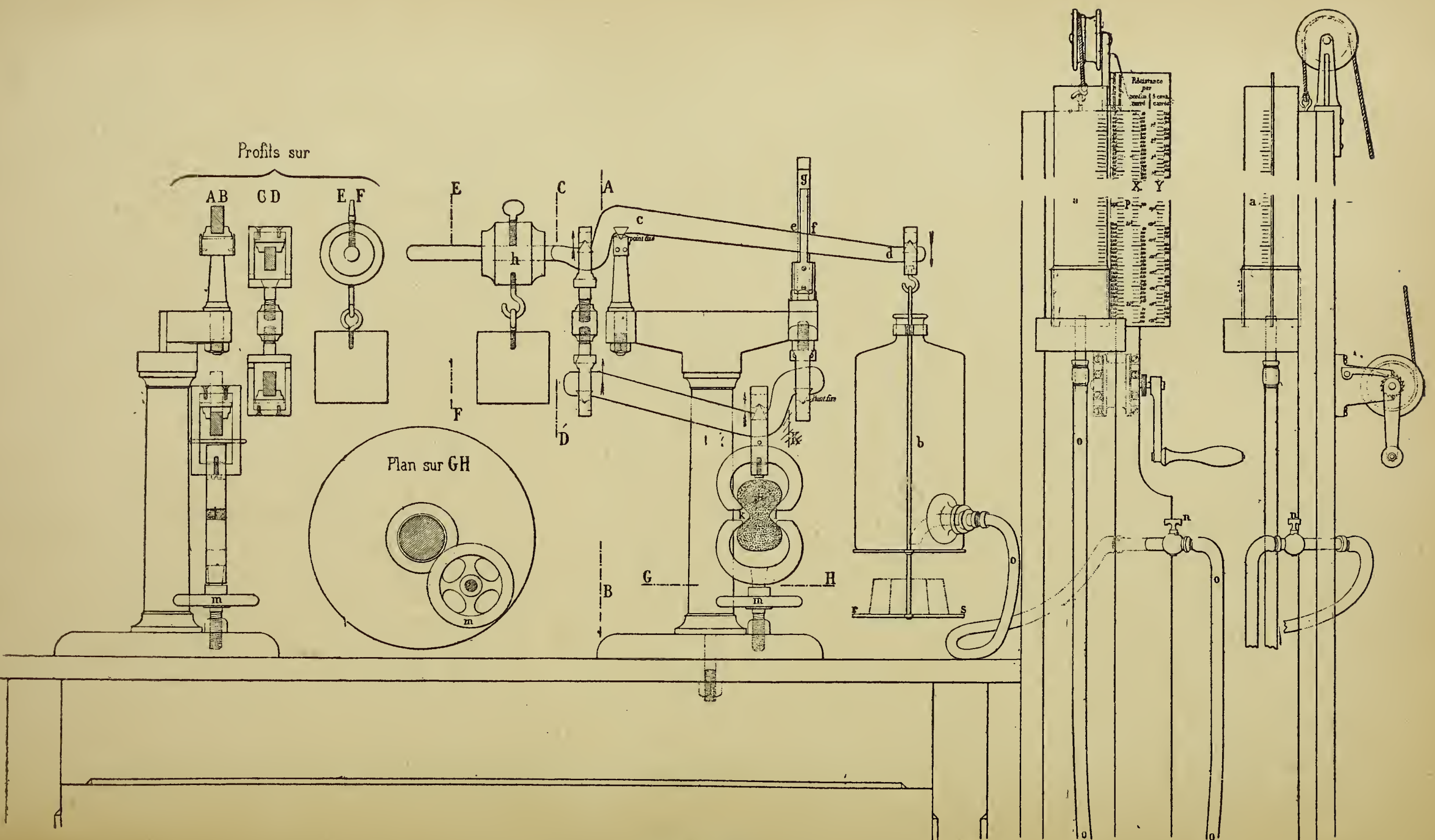


Fig. 748.

748. Elle se compose d'une table d'expérience sur laquelle est fixée une véritable balance à double levier. L'échantillon soumis à l'expérience J et qui a été moulé dans l'appareil de la fig. 745,est pris entre deux mâchoires en fer convenablement disposées : l'une de ces mâchoires,celle du bas,est fixé au pied de la balance et un volant *m* permet d'en régler la hauteur ; l'autre est suspendue, par l'intermédiaire d'un couteau, aux leviers de l'appareil ; le premier levier est articulé à droite sur un point fixe, et, à gauche, son grand bras est suspendu à une tige verticale qui le soulève. Cette dernière est pendue au petit bras d'un deuxième levier, articulé en *c* et portant un plateau à son autre extrémité. Tout poids mis dans ce plateau agissant par le double levier vient former tirage pour tendre à arracher le bloc de ciment. Sur le plateau on met : 1° un poids, 2° un flaçon de dimensions convenables et équilibré de même que les leviers par le contrepoids *h*. Chaque poids produit sur le ciment un effort cinquante fois plus grand.

Le complément de poids pour déterminer la rupture est fourni par de l'eau qui se trouve dans l'éprouvette *a* et qui, passant par le tube en caoutchouc *o*, emplit le flacon de la balance dès qu'on ouvre le robinet *n*.

L'eau s'écoule lentement, vu le petit diamètre du tube, et le seul soin à avoir dans l'expérience est de fermer le robinet au moment même où la rupture a lieu. La charge qui a déterminé la rupture est donc mesurée par le poids additionnel et le poids de l'eau qui est entrée dans le flacon,ou,ce qui revient au même, qui est sortie de l'éprouvette. Or on a ce renseignement par simple lecture. En face de l'éprouvette est une triple échelle graduée. La première colonne indique les centimètres cubes d'eau disparus, autrement dit les grammes qui ont chargé la balance. La seconde, extérieure, donne l'effort correspondant qui s'est exercé sur les cinq centimètres carrés de la section de l'échantillon. La troisième, intermédiaire donne de suite la charge de rupture par centimètre carré.

L'éprouvette *a* peut glisser le long d'une règle qui descend jusqu'au sol. C'est pour cette manœuvre que le tube en caoutchouc est si long. A chaque expérience on baisse l'éprouvette, on ouvre le robinet *n*, le flacon se vide et l'éprouvette se rem-

plit ; on ferme *n*, on remonte l'éprouvette à sa place et l'appareil est prêt pour une nouvelle expérience.

Quelques détails complètent le dessin. Le plan sur GH indique la position du volant *m* par rapport au pied de la balance. Le profil sur AB montre le support fixe du lever supérieur, en même temps que la vue de côté de l'attache des mâchoires. Le profil suivant CD figure la tige et le double couteau qui rélient les deux leviers ; enfin le profil suivant EF donne la disposition du contrepoids.

Les divisions inscrites en face de l'éprouvette ne correspondent qu'à l'eau manquant. Les poids additionnels de 1, 2, 3 kgr. ajoutés directement sur le plateau doivent se traduire par 50, 100, 150 kgr. sur l'échelle n° 2, et par 10, 20, 30 kgr. sur l'échelle n° 3.

Bien des machines ont été construites pour permettre l'essai facile et rapide des ciments. Elles sont construites soit suivant les principes précédents, soit sur celui d'une presse hydraulique, dont on mesure la pression exacte au moyen d'un manomètre très sensible.

459. Expériences. Tableaux des résultats. — Voici les résultats d'essais de ce genre exécutés à l'École des Ponts et Chaussées sur des échantillons de ciment à prise lente de *Frangey*.

La composition de ce ciment est donnée par l'analyse suivante :

Silice	21,60	Acide sulfurique . . .	0,45
Alumine	7,15	Perte au feu et non dosé	2,20
Peroxyde de fer . . .	2,75		
Chaux	64,70		
Magnésie.	1,15		100,00

On a fabriqué des briquettes avec une pâte de ce ciment employé pur, et on les a immergées immédiatement. Puis, on les a soumises à des efforts de traction et de compression, jusqu'à rupture, après des périodes de temps déterminées.

Les briquettes se sont rompues sous les charges suivantes :

Nos des briquettes (ciment pur)	Durée de l'immersion	Arrachement. Charge de rupture pour une section de 16 cent. carrés		Écrasement. Surface portante, 91 centimètres carrés. Charge ayant produit			
				les premières fissures		l'écrasement définitif	
		par briquette	par cent. q.	par briquette	par cent. q.	par briquette	par cent. q.
1	5 jours	345k	21k, 0	8.070k	89k	14.100k	155k
2	—	285	17 8	7.670	84	13.900	153
3	—	293	18 3	7.360	41	14.400	158
4	—	341	21 3	9.440	104	13.500	148
5	—	284	17 8	7.280	80	14.600	161
6	—	270	16 9	8.310	91	13.100	144
	Moyennes	....	18 85	....	88.2	....	153.2
7	15 jours	415	26 0	9.200	101	20.500	215
8	—	415	26 0	19.400	213	24.400	269
9	—	402	25 2	14.600	161	22.800	251
10	—	494	30 9	15.000	165	23.000	254
11	—	497	31 1	12.100	133	23.000	254
12	—	455	28 5	13.300	143	22.800	251
	Moyennes	....	27 95	....	152.7	....	249.0
13	1 mois	500	31 3	19.400	213	27.800	317
14	—	582	36 5	22.300	246	28.900	319
15	—	510	32 0	23.009	254	28.100	310
16	—	407	25 5	17.800	196	28.400	313
17	—	495	31 0	14.300	157	27.800	317
18	—	495	31 0	8.900	98	28.700	316
	Moyennes	....	31 22	....	194.0	....	315.3

Il est intéressant de suivre pendant un temps plus long la manière de se comporter des ciments au point de vue de la résistance.

Voici un extrait de procès-verbal d'expériences de M. Michelot opérées sur des échantillons d'une fourniture de ciment faite pour un travail important.

Après avoir pris les échantillons d'une façon régulière dans toutes les parties de la fourniture, on a procédé à la fabrication des cubes destinés à l'écrasement, et des briquettes pour les expériences d'arrachement ; et cette fabrication, vu l'insuffisance du nombre des moules, a duré deux mois et demi. Il a été ainsi produit : 96 cubes et autant de briquettes, dont 36 cubes et 36 briquettes de ciment pur — 30 cubes et 30 briquettes de mortier à 1 volume de sable et un de ciment — 30 cubes et 30 briquettes de mortier à 5 volumes de sable et 2 de ciment.

A raison de 6 cubes écrasés et 6 briquettes arrachées à chaque expérience, les investigations ont porté sur une période de six mois, en soumettant briquettes et cubes aux appareils après 48 heures, 5 jours, 15 jours, 1 mois, 3 mois et 6 mois de fabrication.

Les briquettes moulées suivant la forme ordinaire en double T avaient une section d'arrachement de seize centimètres carrés. Les cubes pour écrasement avaient cinq centimètres de côté sauf les cubes du dosage de deux de ciment pour cinq de sable qui avaient dix centimètres de côté.

Le gâchage a été fait à l'eau de puits, à la température de 14 à 15 degrés, avec les précautions d'usage et en employant pour un volume de ciment de 0,40 à 0,50 d'eau.

Le mélange du ciment et du sable a été opéré à sec et le dosage des deux matières à été fait en volume.

Le ciment pur et le mortier de ciment, gâchés de manière à offrir la consistance d'une pâte molle, ont été ensuite introduits dans les moules bien calibrés, au moyen d'une truelle, en évitant autant que possible la compression. L'immersion des moules a eu lieu 2 heures après leur remplissage. Pour procéder au démoulage, on attendait que la prise fût bien faite (24 heures environ) ; après le démoulage, briquettes et cubes nus, à arêtes bien vives, ont été de nouveau immergés ; mais, pour chaque série d'expériences, deux briquettes et deux cubes ont éte conservés à l'air sous un hangar. L'eau du bassin

a été renouvelée souvent; sa température n'a pas dépassé 15° sans descendre au-dessous de 10°.

Le sable employé dans les mortiers provenait du diluvium de la vallée de la Seine; il a été choisi bien pur, grenu, d'une grosseur régulière et presque entièrement quartzeux avec un petit nombre de grains calcaires arrondis.

Il était intéressant de connaître la composition chimique de ce ciment; on l'a fait analyser à l'École des Ponts et Chaussées, en deux échantillons pris chacun dans l'un des deux sacs qui ont servi à la fabrication des cubes et des briquettes.

L'analyse a donné les résultats suivants :

	N° 1	N° 2
Silice	25.75	25.05
Alumine et peroxyde de fer	12.75	12.85
Chaux	57.40	57.80
Magnésie	0.70	0.70
Acide sulfurique	0.75	0.80
Acide carbonique, eau et produits non dosés	2.65	2.80
	100.00	100.00

L'indice d'hydraulicité de ce ciment est donc bien compris entre les limites qui déterminent les ciments à prise lente dit Portland.

Les tableaux des pages 312 et 313 résument les expériences qui ont été faites sur toutes les briquettes et consigne les résultats obtenus.

La fabrication des briquettes et des cubes s'est effectuée dans l'intervalle de deux mois et demi ; et, pour retarder le moins possible les expériences à six mois, on a soumis aux essais chaque série de cubes et briquettes dans l'ordre inverse de sa fabrication.

		RÉSULTAT DES							
DOSAGE DU MORTIER et état de l'échantillon		48 heures				5 jours			
		Poids du mètre cube		Résistance par cent. q.		Poids du mètre cube		Résistance par cent. q.	
		des briquettes	des cubes	à la traction	à l'écrasement	des briquettes	des cubes	à la traction	à l'écrasement
1° Mortier de ciment pur	Conservé à l'air	2040^{k} » 2029 »	2018^{k} » 2008 »	5^{k} 68 5 50	43^{k} » 40 »	2006^{k} » 1948 »	2010^{k} » 1975 »	10^{k} » 11 »	112^{k} » 137 »
	Moyennes......	2035 »	2013 »	5 59	42 »	1977 »	1992 »	11 »	125 »
	Conservé dans l'eau.........	2083 » 2083 » 2073 » 2061 »	2026 » 2019 » 2026 » 2033 »	5 62 5 62 6 25 5 25	38 » 37 » 32 » 39 »	2072 » 2067 » 2068 » 2072 »	2134 » 2153 » 2120 » 2130 »	9 » 9 » 9 » » »	115 » 122 » 105 » 109 »
	Moyennes......	2075 »	2052 »	5 69	37 »	2070 »	2134 »	9 »	113 »
2° Mortier de 1 de ciment pour 1 de sable	Conservé à l'air	»	»	»	»	2045 » 2083 »	2012 » 1987 »	6 40 6 50	52 » 46 »
	Moyennes......	»	»	»	»	2064 »	2000 »	6 45	49 »
	Conservé dans l'eau.........	»	»	»	»	2142 » 2135 » 2133 » 2122 »	2174 » 2186 » 2163 » 2164 »	5 63 5 50 5 37 5 31	58 » 49 » 45 » 40 »
	Moyennes......	»	»	»	»	2133 »	2171 »	5 45	48 »
3° Mortier de 2 de ciment pour 5 de sable	Conservé à l'air	»	»	»	»	2014 » 2025 »	» »	1 50 1 94	» »
	Moyennes......	»	»	»	»	2020 »	»	1 72	»
	Conservé dans l'eau.........	»	»	»	»	2096 » 2092 » 2107 » 2106 »	2086 » 2092 » » »	1 22 1 35 1 42 » »	14 » 15 » » » » »
	Moyennes......	»	»	»	»	2100 »	2089 »	1 33	15 »

EXPÉRIENCES APRÈS :

15 jours				un mois				trois mois			
Poids du mètre cube		Résistance par cent. q.		Poids du mètre cube		Résistance par cent. q.		Poids du mètre cube		Résistance par cent. q.	
des briquettes	des cubes	à la traction	à l'écrasement	des briquettes	des cubes	à la traction	à l'écrasement	des briquettes	des cubes	à la traction	à l'écrasement
1920k »	1811k »	11k 98	146 »	1967k »	1958k »	16k »	147k »	1975k »	1922k »	10k 25	221k »
1911 »	1848 »	11 69	152 »	1959 »	1856 »	13 »	154 »	1978 »	1097 »	10 32	222 »
1916 »	1830 »	11 84	149 »	1963 »	1907 »	14 »	151 »	1977 »	1910 »	10 29	222 »
2086 »	2083 »	12 38	128 »	2097 »	2120 »	16 »	182 »	2131 »	2149 »	18 43	313 »
2082 »	2079 »	13 »	139 »	2096 »	2118 »	14 »	176 »	2115 »	2142 »	18 43	299 »
2091 »	2058 »	12 38	122 »	2106 »	2119 »	16 »	186 »	2123 »	2107 »	18 37	269 »
2107 »	2069 »	14 18	127 »	2097 »	2109 »	» »	164 »	2134 »	2127 »	17 47	270 »
2094 »	2072 »	13 »	129 »	2099 »	2117 »	15 »	177 »	2126 »	2131 »	18 »	288 »
1934 »	1914 »	6 30	52 »	2103 »	2096 »	14 02	127 »	1956 »	1942 »	14 12	147 »
1932 »	1919 »	6 67	50 »	2091 »	2085 »	» »	138 »	1989 »	1962 »	11 87	146 »
1933 »	1917 »	6 49	51 »	2097 »	2091 »	14 »	133 »	1973 »	1952 »	13 »	146 50
2103 »	2095 »	6 55	54 »	2199 »	2216 »	15 »	134 »	2159 »	2191 »	15 »	177 »
2115 »	2111 »	6 30	54 »	2194 »	2229 »	14 »	161 »	2152 »	2199 »	17 50	179 »
2110 »	2095 »	6 50	50 »	2197 »	2214 »	14 »	124 »	2159 »	2185 »	16 06	182 »
2132 »	2087 »	6 »	45 »	2199 »	2183 »	14 »	126 »	2159 »	2178 »	15 69	175 »
2115 »	2097 »	6 33	51 »	2197 »	2211 »	14 »	136 »	2157 »	2188 »	16 »	184 »
1912 »	1929 »	2 69	28 »	1975 »	1957 »	5 »	32 »	1953 »	2015 »	5 31	72 »
1878 »	1924 »	2 61	28 »	1954 »	1957 »	5 »	40 »	1959 »	1998 »	5 84	69 »
1895 »	1927 »	2 65	28 »	1965 »	1957 »	5 »	36 »	1956 »	2007 »	5 58	71 »
2094 »	2076 »	2 69	20 »	2130 »	2172 »	5 37	44 »	2142 »	2146 »	10 61	82 »
2085 »	2083 »	2 07	22 »	2127 »	2163 »	5 37	49 »	2135 »	2139 »	10 18	83 »
2092 »	2078 »	2 56	24 »	2125 »	2151 »	» »	39 »	2131 »	2143 »	10 30	84 »
2088 »	» »	1 90	» »	2124 »	2156 »	» »	42 »	2143 »	2151 »	10 30	72 »
2090 »	2079 »	2 30	22 »	2127 »	2161 »	5 37	44 »	2138 »	2145 »	10 35	80 »

Ces extraits de procès-verbaux et les tableaux annexés montrent avec quel soin et quel ordre ces expériences doivent être faites pour pouvoir donner des résultats sérieux.

Les essais ne doivent pas se borner à déterminer la charge d'écrasement ou de rupture ; lorsqu'on veut connaître absolument un ciment, elles doivent porter aussi sur ses propriétés physiques, sa densité, sa finesse de grains, et aussi sur le gonflement et le retrait que les mortiers peuvent prendre.

458. Résistance des ciments à la compression et à l'arrachement. — De toutes les expériences auxquelles on s'est livré sur la résistance des ciments à prise lente, il résulte que les Portlands de bonne qualité donnent les moyennes suivantes pour la résistance à la rupture par traction.

Après 5 jours. . 10 à 20 kg. par cm. carré
Après 15 jours. . 20 à 30
Après 1 mois. . 30 à 35.

Cette résistance augmente ensuite lentement, s'élève à près de 40 kg. au bout de 6 mois et reste stationnaire jusqu'à un an et paraît rétrograder légèrement ensuite (Durand-Claye : *Chimie appliquée à l'art de l'Ingénieur*).

M. Barreau, d'après le même ouvrage, a fait de longues expériences résumées dans le tableau suivant :

Durée de l'immersion	Echantillon N° 1	Echantillon N° 2	Echantillon N° 3	Echantillon N° 4
25 jours	9.560	12.060	27.940	15.630
1 mois	22.940	22.500	30.630	26.880
3 mois	26.440	26.880	41.880	36.690
6 mois	24.830	25.810	39.560	34.190
9 mois	30.000	31.690	42.940	37.440
1 an	29.190	29.560	25.190	34.190
15 mois	28.940	28.750	20.810	37.440
18 mois	29.060	29.000	23.000	34.190
21 mois	22.629	27.500	19.130	28.940
2 ans	18.750	19.060	16.380	18.940

Les ciments qui présentent les plus grandes résistances au commencement ne sont pas au bout de 2 ans les plus résistants.

Lorsque le ciment de Portland est mélangé au sable, la résistance diminue à mesure que le sable augmente, et d'après les expériences de M. Vaudrey, citées par M. Durand-Claye, après 6 semaines de dessiccation à l'air :

1 p. ciment et	1	p. sable	accusent une résistance de	20 k. par c.q.	à la traction
—	2	—	—	9.5	—
—	3	—	—	6.5	—
—	4	—	—	5.6	—
—	5	—	—	4.7	—
—	6	—	—	4.0	—
—	7	—	—	3.0	—
—	8	—	—	2.5	—
—	9	—	—	1.8	—
—	10	—	—	0.0	—

Cependant la pratique semble indiquer que des mélanges de 1 partie de ciment et 10 parties de sable, triturés avec soin à la façon des bétons Coignet, et fortement pilonnés dans un coffrage indéformable, acquièrent au bout d'un temps relativement long une cohésion très appréciable. Il faut pour cela qu'ils soient soumis pendant tout le temps de prise à une humidité constante, et qu'ils aient été gâchés avec le minimum d'eau.

Des expérience analogues ont été faites avec les ciments de laitier. Dans les notes et ouvrages indiqués au nº 415 on cite les tableaux suivants qui donnent une idée de sa résistance à l'arrachement, soit à l'état de ciment pur, soit à l'état de mortier, et après des temps de prise variables de 7 jours à 84 jours.

Le premier de ces tableaux donne la résistance à l'arrachement par centimètre carré de mortiers d'origine anglaise (les laitiers venant des localités diverses indiquées), d'après les nombreuses expériences de M. Lassen. Le résidu laissé sur un tamis de 5000 mailles est indiqué dans la première colonne, puis les résistances de mortier de 1 de ciment contre 3 de sable, puis enfin la résistance du ciment pur gâché.

Résistance à l'arrachement par centimètre carré

Nº des essais	Provenance des laitiers	Résidu sur tamis de 5000 mailles	Mortier 1 de ciment et 3 de sable				Ciment pur		
			7 j.	28 j.	42 j.	84 j.	7 j.	28 j.	42 j.
1	Dudley......	»	»	1.75	»	»	»	»	»
2	Wigan	»	»	5.6	8.4	»	»	»	»
3	Cumberland .	25	5.6	11.3	»	»	»	»	»
4	Staffordshire.	20	8.2	12.6	14.0	»	16.2	17.6	»
5	Derbyshire...	18	9.8	13.7	»	»	18.6	21.1	»
6	N. Wales ...	30	7.6	9.6	»	»	20.0	22.1	»
7	S. Wales....	20	11.3	14.8	16.8	»	22.1	25.7	28.0
8	Scotland.....	18	15.9	23.9	26.4	29.2	23.9	29.2	30.9
9	Cleveland....	19	16.8	23.5	25.3	27.8	24.6	30.6	»
10	—	21	15.2	25.7	27.8	29.9	28.3	34.1	35.2
11	—	15	19.7	28.1	»	»	29.2	35.7	»
12	Newcastle....	15	16.5	24.6	»	»	30.2	35.0	»
13	—	16	20.9	29.5	32.0	»	39.4	49.2	44.3
14	Cleveland....	12	20.3	28.5	30.2	31.6	33.9	42.9	»
15	—	11	28.0	36.6	»	»	»	»	»
16	Lincolnshire .	12	16.8	24.6	»	»	31.7	39.5	»

Résistance à l'écrasement par centimètre carré

Nº des essais	Provenance des laitiers	Mortier 1 de ciment et 3 de sable		Ciment pur	
		7 jours	28 jours	7 jours	28 jours
9	Cleveland.........	111	192	235	250
10	—	106	200	240	275
13	Newcartle	197	258	280	320
14	Cleveland.........	186	234	252	309

Enfin le tableau suivant montre comme résultat d'expériences que la quantité d'eau employée pour le gâchage n'est pas indifférente.

Résultats avec mortier de ciment de laitier de Choindez 1 de ciment et 3 de sable

		7 j.	28 j.	86 j.	210 j.
Conservation dans l'eau. Mortier gaché avec	11 0/0 d'eau, assez sec..	18.1	31.9	33.5	37.0
	14 0/0 d'eau, humide...	13.5	28.7	29.8	35.1
	18 0/0 d'eau, fluide.....	10.6	26.4	30.3	32.8
Conservation à l'air. Après 7 j. dans l'eau	11 0/0 d'eau, assez sec..	»	32.3	33.3	33.1
	14.5 d'eau, humide......	»	26.3	26.5	30.5
	18 0/0 d'eau, fluide.....	»	26.6	24.9	28.0

Qu'il soit employé dans l'eau ou à l'air, le ciment de laitier gâché serré acquiert une dureté notablement plus grande que lorsqu'il est délayé avec une dose de liquide plus grande,

459. Rapport entre la résistance à l'arrachement et la résistance à la compression. — Les expériences montrent que le rapport entre la résistance à la compression et la résistance à l'arrachement est toujours dans un rapport qui paraît constant et qui pratiquement varie de 6 à 8.

Et cela est vrai pour les ciments et chaux de toutes provenances, de telle sorte que dans bien des cas on se borne à chercher expérimentalement la résistance à l'arrachement, et en multipliant par le nombre 7 on a très approximativement la résistance à la compression.

460. Principales clauses des cahiers des charges pour les fournitures de ciments. — Les grandes administrations qui emploient de très grandes quantités de ciments à prise lente ont jugé qu'elles avaient le plus grand intérêt à s'assurer de fournitures régulières et de qualités déterminées. Elles stipulent dans leur cahier des charges qu'un contrôle

effectif pourra être exercé directement dans l'usine à ciments par un de leurs agents spécialement désigné. Ce contrôle portera sur la surveillance de la composition des pâtes crues, sur le triage après cuisson, sur les opérations subséquentes jusqu'au magasinage, sur le plombage spécial des emballages et l'expédition des produits.

Les vérifications et essais au chantier doivent avoir pour but de vérifier :

Que le ciment est livré sec et sans atteinte d'humidité préalable,

Qu'il a la densité voulue,

Qu'il a la composition chimique annoncée,

Quelle est la durée de sa prise,

Que, après la prise, il ne se fissure pas,

Qu'il présente la résistance voulue, soit seul, soit mélangé de sable.

La siccité se juge directement avec la plus grande facilité.

Pour obtenir le poids du ciment, on fait tamiser l'échantillon moyen à travers une toile présentant 5000 mailles par centimètre carré, et c'est cette poussière que l'on verse au moyen d'une feuille de zinc à 45° dont le bord inférieur est placé à 0 m. 01 de la mesure de litre formée par un cube de 0,10 de côté. La mesure étant remplie on l'arase avec une lame bien droite tenue verticalement. On a soin pendant toute l'opération de ne faire subir à la mesure aucune secousse, aucune trépidation. On répète un certain nombre de fois l'opération et on prend pour chiffre réel la moyenne des résultats.

Les matières qui peuvent chimiquement altérer le ciment sont le soufre et l'oxyde de fer.

Tout ciment dans lequel l'analyse chimique décèle plus de 1 0/0 d'acide sulfurique, ou découvre des sulfures en proportions dosables est ordinairement refusé.

Il en est de même lorsqu'on trouve plus de 4 °/₀ d'oxyde de fer.

Les ciments qui présentent un indice d'hydraulicité inférieur à 0,44 sont refusés.

Les cahiers des charges prescrivent souvent de gâcher les ciments purs à l'eau de mer, à une température maintenue

entre 15 à 18°. On détermine par tâtonnements la proportion d'eau nécessaire et on emploie toujours la même.

La pâte ferme obtenue, prise en petite quantité, doit se détacher de la truelle, se mettre en boule facilement, ne pas adhérer à la peau, tomber de 0m50 sans se crevasser.

Pour déterminer la durée de la prise, on opère de la façon suivante : On met de la pâte gâchée dans une boîte cylindrique en métal de 0,04 de hauteur sur 0,08 de diamètre. On imprime à la boîte de légères trépidations pendant quelques instants et on laisse surnager l'eau qui se sépare. Au-dessus de la boîte on suspend une aiguille prismatique pesant 300 grammes et ayant pour section un carré de un millimètres de côté.

Le début de la prise est le moment où la masse ne se laisse plus traverser totalement par l'aiguille, descendue avec précaution.

La fin de la prise a lieu, quand le ciment peut supporter l'aiguille sans qu'elle y pénètre d'une façon appréciable.

Si le ciment commence à prendre avant trente minutes, ou termine sa prise avant trois heures, la fourniture correspondant à l'échantillon est refusée. De même, si la prise n'est pas terminée avant douze heures. Le temps est compté à partir du moment où l'eau est versée sur le ciment. La température dans ces essais doit être comprise entre 15 et 18 degrés.

On juge des fissures que peut présenter le ciment en confectionnant avec l'échantillon des galettes lenticulaires de 0,10 de diamètre et de 0,02 d'épaisseur au milieu, et les immerge dans l'eau. Il ne doit se former au bout de plusieurs jours ni plissements ni crevasses.

Les essais de résistance se font avec les briquettes moulées comme il a été dit plus haut. On se contente d'expériences à l'arrachement au moyen d'un appareil comme celui représenté, fig. 748, ou tout autre analogue.

Au bout du 7e jour, les briquettes doivent résister à 20 kilogrammes par centimètre carré, et à 35 kg. au bout du 28e jour, dépassant d'ailleurs à cette date, d'au moins 5 kg., la résistance observée au bout du 7e jour. Au bout de 84 jours elle doit atteindre 45 kilogrammes, et en tous cas dépasser la résis-

tance du 28e jour, quand celle-ci n'a pas été d'au moins 55 kilogrammes.

Pour les essais des mortiers faits avec du sable, les cahiers des charges indiquent un sable *normal* quartzeux obtenu par la pulvérisation de quartzites. Ce sable doit être passé dans un tamis de 64 mailles au centimètre carré et être épuré des parties trop fines, au moyen d'un second tamisage dans un tamis de 144 mailles. Ce sable doit être bien lavé et séché.

On fait des briquettes avec un mortier composé de une partie de ciment sec et de trois parties de sable normal sec en poids. Les briquettes faites avec soin, démoulées, sont plongées dans l'eau de mer au bout de 24 heures, à une température maintenue entre 15 et 18 degrés.

La résistance du mortier doit être au moins de 8 kg. par centimètre carré au bout du 7e jour, d'au moins 15 kilogrammes par centimètre carré au bout du 28e jour, tout en dépassant la première d'au moins 2 kilogrammes. Au bout de 84 jours elle doit être d'au moins 18 kilogrammes et en même temps dépasser la précédente.

La plupart de ces conditions, contenues dans le cahier des charges du service de l'ingénieur du Port de Boulogne, montrent avec quelles précautions il y a lieu de procéder aux réceptions des ciments à prise lente, et en même temps quelle importance on attache à une bonne fabrication.

§ 4.

DES MORTIERS ET BÉTONS

461. Divers mortiers. — Les mortiers, ainsi qu'on l'a vu précédemment, sont des pâtes agglutinantes qui servent à lier les matériaux solides des maçonneries et acquièrent au bout de quelque temps le durcissement nécessaire pour les rendre adhérents.

Le durcissement doit être obtenu, soit par dessiccation, soit par combinaison chimique à l'air libre.

On peut faire des mortiers avec de la terre, avec du plâtre, avec des chaux ou des ciments, ordinairement mélangés de sable.

Nous allons passer en revue ces diverses sortes de mortiers.

462. Fabrication du mortier de terre. — Le plus simple de tous les mortiers est le mortier de terre. On prend pour le faire une terre qui ne soit ni trop argileuse, ni trop sableuse : pas trop argileuse parce qu'elle se fendrait par retrait considérable à la dessication, et d'autre part pas trop sableuse parce que, une fois desséchée, la cohésion lui manquerait.

La terre argilo-sableuse convient très bien dans la plupart des cas.

On la mélange avec de l'eau dans la proportion nécessaire pour faire un pâte épaisse, et on la triture bien pour avoir un mélange bien homogène.


Fig. 749.

Dans la pratique, on émiette la terre que l'on a choisie, on la débarrasse des cailloux et des herbes qu'elle peut contenir, et, on l'étale sur le terrain pour faire ce triage, puis on la relève et on en fait les bords d'une sorte de bassin dans lequel on verse de l'eau.

Avec une pelle on rabat successivement au centre les bords internes du bassin pour obtenir un premier mélange ; puis, avec un outil que l'on nomme un *rabot*, fig. 749, auquel on imprime à la main un mouvement de va et vient, on forme le mélange complet avec l'eau. On maintient celle-ci en quantité suffisante pour que, lorsque toute la terre est transformée en pâte, elle ait la consistance nécessaire.

On transporte ensuite le mortier sur le lieu d'emploi, soit dans des brouettes lorsque le transport est horizontal, soit dans des *oiseaux* portés à dos d'homme, lorsque le transport s'effectue de bas en haut, soit encore dans des goulottes ou

caisses inclinées lorsque la matière doit descendre dans une fouille.

On exécute en mortier de terre des maçonneries peu importantes. Maisons d'ouvriers, murs de clôtures, perrés. On le prend avec la truelle de maçon et on l'incorpore aux matériaux solides auxquels on doit le mélange.

463. Pisé. Lorsque le mortier de terre doit faire la masse de toute la construction, comme dans les murs construits en pisé, on le mélange de matières filamenteuses comme de la bourre, des pailles et foins, pour augmenter sa tenacité, et on met moins d'eau dans le mortier ; ou bien, si l'on est obligé d'en mettre trop pour le mélange, on le laisse s'égoutter et se sécher avant l'emploi jusqu'à consistance convenable.

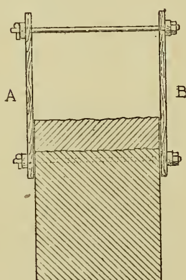
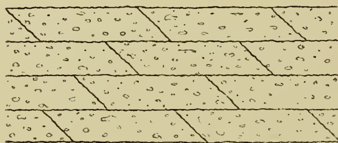


Fig. 750.

La matière est versée sur le mur déjà fait entre deux panneaux A et B, appelés *banches*, fig. 750, dont l'écartement est maintenu par des boulons.

On la dépose par couches de 0m15 à 0m20, et on la pilonne fortement jusqu'à ce qu'on ait rempli la hauteur des banches. Dans le sens de la longueur on s'arrête à la fin des panneaux suivant un plan incliné, de sorte que l'aspect d'un mur entièrement construit en pisé montre la trace des diverses assises, ainsi que celle des reprises suivant la forme indiquée dans la fig 751.


Fig. 751.

Lorsque le contenu d'une banche a pris une consistance suffisante, on dépose les deux panneaux et on les reporte plus loin pour continuer l'assise ou plus haut pour en commencer une nouvelle.

On augmente la cohésion d'un mur en intercalant en travers, à la base de chaque assise, quelques lattes ou débris de planches qui forment parpaings.

Dans bien des pays, on alterne des assises de mortier de

terre avec des assises de mortier meilleur qui servent de liaison ; ces dernières sont moins épaisses que les autres et se réduisent souvent de 0m20 à 0m25, tandis que celles en terre ont 0m50 à 0m60.

Le mortier de terre ne durcit que par une simple dessiccation, quand il est employé à la confection des murs; il en est autrement lorsque on l'emploie à la liaison de maçonneries chauffées.

Les fourneaux industriels de toutes sortes, et notamment ceux des chaudières à vapeur, sont composés de massifs, de murs verticaux, de voûtes et de carrelages en matériaux résistant à la chaleur, en briques généralement.

Pour relier ces briques on se sert de mortier et on le fait avec une terre argilo-sableuse que l'on nomme *terre à four* et que l'on délaye dans l'eau. Le mortier commence par durcir par dessiccation et, quand la maçonnerie vient à être chauffée, il reçoit une véritable cuisson qui lui donne une plus grande dûreté.

Les maçonneries qui doivent être portées à la chaleur rouge blanc exigent des matériaux réfractaires, grès ou briques en général. Il ne servirait à rien d'avoir ces matériaux spéciaux si le mortier qui doit les unir ne jouissait des mêmes propriétés. On prend pour le faire des argiles réfractaires réduites en poudre, et mélangées de sables réfractaires ou de déchets pulvérisés de briques réfractaires : le mortier qui en résulte porte le nom de *coulis réfractaire*. Quelquefois on se sert de kaolin.

Le mortier une fois durci par dessiccation subit une véritable cuisson la première fois qu'il est porté au blanc et l'ensemble donne une maçonnerie bien agglomérée et capable de résister longtemps aux températures très élevées.

464. Mortier de chaux grasse.— Les mortiers de chaux grasse se font en mélangeant la chaux grasse éteinte avec du sable et de l'eau, et broyant comme précédemment jusqu'à ce qu'on obtienne une pâte liée bien homogène.

On a vu que le sable est ajouté à la chaux pour plusieurs raisons.

1° Il est moins cher, augmente le volume du mortier et diminue son prix au mètre cube.

2° Il est *incompressible* et, quand on a pris la précaution, indispensable pour la chaux grasse, de limiter la quantité de chaux employée au volume des vides du sable, il communique au mortier cette propriété d'être incompressible.

3° Il divise la chaux et favorise l'introduction de l'acide carbonique qui par réaction chimique doit augmenter la dureté par la formation de carbonate de chaux.

Le volume du mortier obtenu est égal au volume du sable employé, la chaux ne suffisant pas d'ordinaire à remplir ses vides.

Le mortier de chaux grasse doit être exempt de terre et de matières étrangères alumineuses ou organiques. On le fait sur une aire pavée, ou dallée, ou recouverte de planches jointives. Quand on n'en a qu'une petite quantité à faire, on le fait comme le mortier de terre ci-dessus.

On mesure la quantité de sable nécessaire à une opération et on le dispose en tas circulaire réservant au milieu un bassin en creux ; au milieu, on vient mettre la chaux en pâte également mesurée et on y ajoute l'eau nécessaire. On délaye la chaux au rabot dans cet excès d'eau, en y incorporant petit à petit le sable du pourtour, jusqu'à ce qu'il ait totalement disparu dans la pâte et que celle-ci soit bien homogène.

Lorsque la quantité de mortier à faire est un peu considérable on remplace la fabrication au rabot par la confection mécanique.

On peut se servir d'un malaxeur.

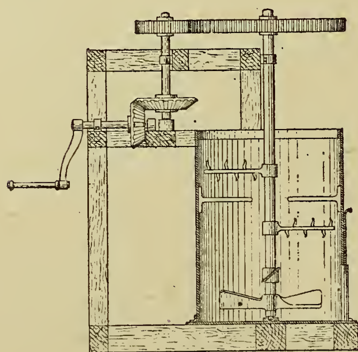


Fig. 752.

465. Malaxeur à bras. — Les malaxeurs destinés à confectionner de petites quantités de mortier sont mus à bras. L'un de ces appareils est représenté fig. 752. Il se compose d'un bâti en bois portant une caisse cylindrique en tôle ; dans l'axe de

celle-ci tourne un arbre muni de palettes lisses ou dentées, alternant avec des bras fixes rivés à la caisse.

Le mouvement de rotation est donné par une série d'engrenages aboutissant à une manivelle mue à bras.

Une vanne laisse passer le mortier lorsque la matière est suffisamment broyée et que le mélange est homogène. La dernière palette du bas, plus large que les autres est disposée en forme d'hélice ; elle pousse le mortier vers l'ouverture et facilite sa sortie.

466. Malaxeur à manège. — Il se compose d'une caisse en tôle, montée sur un bâtis en bois et munie d'une ou plusieurs portes à coulisses à la partie inférieure.

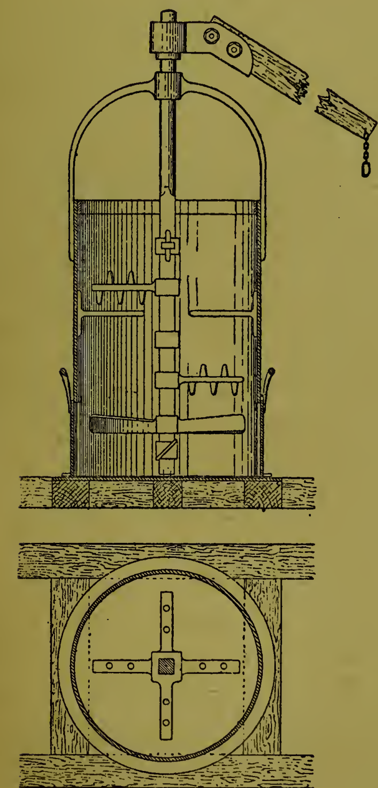


Fig. 753.

Un arbre vertical est placé dans l'axe de l'appareil ; il s'appuie en bas sur une crapaudine fixée au fond de la caisse et est maintenu en haut par un collier que soutiennent deux anneaux en croix. Dans la hauteur de la caisse, il est muni d'ailettes perpendiculaires, les unes lisses et inclinées, les autres garnies de dents de rateaux et alternant avec des barres fixes attachées à la caisse.

Si l'on vient à verser dans l'appareil et à la pelle du sable et de la chaux en proportions voulues avec l'eau nécessaire et donner au moyen d'un grand levier auquel est attelé un cheval, un mouvement de rotation à l'arbre, il en résultera un broyage énergique de la matière

qui pourra sortir par une des portes du bas à l'état de mortier homogène.

On ouvre cette porte d'une quantité telle que l'appareil fonctionne d'une façon continue pendant que l'on remplace par de nouvelles matières le mortier qui s'en échappe.

467. Malaxage à vapeur. — Les malaxeurs au lieu d'être mus par manège peuvent être actionnées par une locomobile.

On confectionne ainsi plus économiquement les mortiers dans les grandes installations qui doivent en produire des quantités considérables dans les chantiers très importants.

On peut employer également des meules verticales larges, circulant dans des auges circulaires avec ramasseurs, et broyant les matières dosées avec le minimum d'eau. Une locomobile puissante actionne plusieurs de ces outils à la fois.

C'est ainsi que l'on a fait le mortier de mâchefer qui a servi à l'exécution des murs en pisé du lycée de St-Etienne. On dispose les broyeurs, appelés aussi *tordoirs*, pour que le mortier produit tombe dans les wagons qui doivent le transporter sur le lieu d'emploi, sur le *tas*, comme l'on dit.

468. Mesurage des matières. — Lorsque dans la confection des mortiers on emploie de la chaux éteinte par fusion dans des bassins, on la mesure au moyen de caisses en bois maintenues par des piquets ; l'un des côtés est muni de vannes

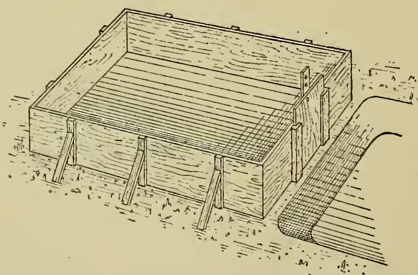


Fig. 754.

pour l'écoulement de la matière dans un bassin inférieur où on la reprend pour faire le mortier (fig. 754).

Lorsque la chaux est éteinte par aspersion et en poudre, on la mesure dans une caisse jaugée plus petite et on la verse au milieu du bassin préparé avec le sable.

D'autres fois, on trouve avantageux de faire d'avance, et dans les proportions voulues, le mélange à sec du sable et de la chaux en poudre, et de le malaxer après coup avec l'eau en le traitant comme le sable des boulées précédentes.

Enfin quand le mortier doit être fait dans un malaxeur, on met les matières premières à la pelle, mélangées d'avance ou non, dans la caisse, et on ajoute l'eau avec un récipient emmanché, ou un robinet faiblement ouvert.

Dans tous les cas il est absolument indispensable de faire un mesurage rigoureux des matières qui doivent former les mortiers pour que ceux-ci présentent la régularité de fabrication et l'uniformité de résistance nécessaire.

469. Valeur du mortier de chaux grasse. — Emploi des Pouzzolanes.— Dans le sol, à l'abri de l'air, le mortier de chaux grasse et sable ordinaire se conserve indéfiniment mou.

Dans le sol humide, au contact de l'air, il durcit lentement par absorption d'acide carbonique, et le durcissement est surtout superficiel.

Dans les murs en élévation, le mortier de chaux grasse se dessèche avant la carbonation, et n'a, comme durcissement que celui que donne la dessiccation.

Aussi, le mortier de chaux grasse et sable ordinaire est-il maintenant complètement abandonné des constructeurs.

La valeur du mortier s'améliore lorsqu'on remplace le sable en tout ou en partie par des matières pouzzolaniques et il peut devenir très bon suivant leurs natures et leurs proportions.

Quelques sables contenant de l'argile et de la silice, jouent le rôle de Pouzzolanes, et mélangés à la chaux grasse donnent un mortier hydraulique.

Les Pouzzolanes naturelles remplacent le sable dans les mortiers de chaux grasse. La proportion de chaux est de 12 à 20 parties de chaux pour 100 de Pouzzolane.

D'autres fois, on mélange la chaux avec parties égales de Pouzzolane et de sable inerte.

Dans le nord de la France, on emploie le mortier de trass, très usité en Hollande.

Les mortiers de Pouzzolanes artificielles sont analogues.

On peut citer :

Le mortier de ciment de tuileaux composé de chaux grasse mélangée avec des déchets de briques et poteries grossièrement pulvérisés sous le nom de ciment de tuileaux. Ce mortier était autrefois très employé dans les pavages et les maçonneries de soubassements.

Il est bien abandonné aujourd'hui depuis la vulgarisation des ciments.

Le mortier de mâchefer formé de 200 à 250 kg. de chaux, et de un mètre cube de mâchefer ou scories de forges ou de mines, ou des crasses de grille. Les deux matières mélangées, et triturées sous des meules verticales avec la quantité d'eau strictement nécessaire forment un très bon mortier hydraulique que l'on peut employer en pisé pilonné entre banches pour faires des bâtiments élevés (Lycée de Saint-Etienne, murs de 18 m. 00 de hauteur). Ce mortier résiste facilement à 40 à 50 kg. par cmc.

Les mortiers de chaux et ciments dans lesquels le ciment joue le rôle de Pouzzolane pour donner de l'hydraulicité à l'ensemble. Dans certains cas, ces mortiers sont avantageux à cause de leur prise très lente. Excellents dans la confection des cheminées d'usines, ils permettent d'exécuter un bloc de maçonnerie et de régulariser après coup ses parements avant la prise. Ils sont excellents aussi dans la confection des carrelages mosaïques ; ils permettent de dresser la surface dont on a eu le temps de confectionner l'ensemble.

Malgré cette lenteur de prise, ils deviennent très durs.

470 Mortiers de chaux hydrauliques. — Les mortiers de chaux grasse et de sable ou même de chaux grasse et Pouzzolanes sont presque abandonnés aujourd'hui que l'on a partout à bas prix de la chaux hydraulique.

Avec le sable, la chaux hydraulique donne un excellent mortier dans les travaux en élévation aussi bien que dans les travaux en fondation ou même les travaux hydrauliques.

La proportion de sable à mélanger à la chaux dépend de la qualité de cette dernière et de la nature des ouvrages que l'on doit exécuter.

A Paris on emploie des mortiers de proportions définies, dénommées par un numéro d'ordre.

Le mortier n°	1	comprend	1	p.	chaux et	5	p.	sable.
—	2	—	1		—	3		—
—	3	—	1		—	2		—
—	4	—	1		—	1		—

Le mortier n° 1 est réservé aux mortiers de ciment, tout au plus peut-on l'admettre avec la chaux hydraulique lorsque l'on doit faire des massifs peu chargés servant plutôt de remplissages.

Le mortier n° 2 est celui qui est adopté pour presque toutes les limousineries. C'est celui qui donne toute satisfaction aux raisons d'économie en même temps que de sécurité.

Le mortier n° 3 est réservé pour travaux très soignés, ou qui doivent présenter une certaine étanchéité. C'est ce que l'on nomme un mortier *gras*, le mot gras appliqué à l'excédant de chaux qu'il contient. Il sert aussi aux crépis et enduits.

Le mortier n° 4 n'est pas applicable à la chaux hydraulique.

Dans le cas où on veut retarder la prise, on remplace souvent la chaux hydraulique par de la chaux grasse que l'on additionne de 1/4 à 1/5 de ciment Portland.

Dans la constructiou des cheminées d'usine, ce mortier permet à l'ouvrier de monter cinq ou six assises circulaires, quelquefois plus, et de les régler après coup, en parement, en enfonçant au marteau les briques qui peuvent dépasser un peu le cercle extérieur. Le mortier hydraulique ordinaire ne permettrait pas cette rectification.

471. Résistance des mortiers de chaux hydrauliques. — Peu d'expériences ont été faites. On a d'abord cherché à établir la résistance à la traction, par la rupture d'échantillons soumis à la flexion, les barreaux étant portés sur deux appuis dans des conditions déterminées.

Les seules expériences sur lesquelles on doive compter sont

celles qui sont faites soit à la traction, soit à la compression, comme celles des ciments, et que nous avons décrites.

Voici d'après Durand-Claye quelques résultats de ces expériences :

Nº d'ordre	Expérimentateurs	Chaux	Quantité de chaux par m. c. de mortier	Age des mortiers	Rupture à la traction par c. c.	Rupture à la compression par c. c.
1	De Préandeau	Le Teil	285k en poudre	5 à 10 j.	0.780	2.710
2	—	—	— —	11 à 15	1.320	4.340
3	—	—	360 —	5 à 10	0.980	5.520
4	—	—	— —	11 à 15	1.060	5.000
5	—	—	— —	16 à 21	1.290	6.150
6	Prudhomme	—	340 —	45 jours	1.540	9.810
7	—	—	— —	3 mois	3.620	16.260
8	—	—	— —	6 —	5.250	23.730
9	—	—	— —	1 an	6.050	39.540
10	Gobin	—	0 m.c. en pâte	6 mois	10.300	91.000
11	—	—	500k en poudre	—	12.600	74.000
12	—	—	0.50 —	—	10.750	72.000
13	—	—	300k —	—	5.600	41.000
14	—	Montallien	0.50 en pâte	—	5.900	56.000
15	—	—	300k en poudre	—	9.000	70.000
16	—	—	0.50 —	—	7.500	49.000
17	—	—	300k —	—	3.750	41.000

Vicat a trouvé les charges d'écrasement suivantes :

Mortier de chaux grasse et sable. . . . . 19 kgs
Mortier de chaux hydraulique et sable. . . . . . . 74 kgs
Mortier de chaux éminemment hydraulique et sable. 144 kgs

Il résulte de ces chiffres que les mortiers de chaux hydrauliques présentent de très grandes variations de résistance suivant l'âge, la situation, le dosage de l'eau et des matières.

Une fois les mortiers pris, la résistance à la compression est de 6 à 8 fois celle à la traction.

472. Mortier de ciment à prise rapide. — L'inconvénient que présente à l'emploi le ciment romain ou léger, réside dans la rapidité de sa prise ; à peine a-t-on le temps de le gâcher.

Aussi cherche-t-on à en gâcher peu à la fois et à l'employer de suite pendant qu'il est dans toute sa force.

Les manœuvres qui servent les cimentiers sont prévenus par ces ouvriers du moment où ils vont avoir besoin de mortier. Ils gâchent la matière dans une sorte d'auge horizontale, montée sur tréteaux, et munie de rebords de 3 côtés. C'est en avant qu'il n'y en a pas. Fig. 755.

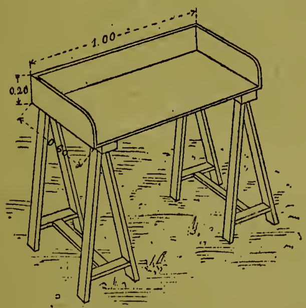


Fig. 755.

Dans cette auge, ils mélangent à sec 30 à 40 litres de sable et de ciment, et quand la poudre est homogène, ils ajoutent la quantité d'eau nécessaire, environ la moitié du volume du ciment en poudre.

Le mélange fait est versé dans un sceau ou une auge et porté au cimentier qui l'emploie de suite.

Dans certains travaux on emploie une autre méthode qui consiste à mélanger d'avance dans les proportions voulues le sable presque sec et le ciment, et à prendre dans le tas ainsi formé quelques heures avant l'emploi, la quantité à gâcher chaque fois avec de l'eau. La prise se fait moins vite, l'emploi est plus facile, les boulées sont plus grosses, et la prise, quoique retardée, donne encore de bons résultats.

Les proportions employées dans les limousineries sont de :

1 p. de ciment romain.
2 p. de sable.

Les proportions adoptées par les enduits sont :

1 p. ciment romain.
1 p. sable.

Enduits lissés et brettelés — Les enduits lissés sont convenables pour revêtir les parois des citernes et des fosses, ils rendent la surface plus compacte et plus imperméable.

Employés comme revêtements extérieurs ou ravalements,

les enduits lissés se fendillent en tous sens, et, de plus, ils sont nécessairement irréguliers et miroitent désagréablement.

Il vaut mieux ne pas faire de lissage et recouper le ciment pour le dresser à la truelle bretellée, il faut pour cela du sable fin.

Quand l'enduit est divisé par des joints pour imiter des pierres d'appareil, les cimentiers sont très habiles à produire autour de chaque pierre un encadrement de 1 à 2 centimètres qui imite une ciselure bien dressée et qui fait très bon effet.

473. Résistance des mortiers de ciment romain. — Après un mois, le ciment gâché pur donne comme résistance à l'arrachement de 6 à 10 kgr. par centimètre carré, et à l'écrasement de 50 à 80 kgr.

Quand on ajoute du sable la résistance diminue à partir de volumes égaux.

Ainsi, d'après les expériences de M. Vaudrey relatées dans la *Chimie appliquée à l'art de l'ingénieur* de Durand Claye, le ciment de Vassy pur donnant une résistance à la traction de 10 kgr., son mélange avec le sable donne les résultats suivants:

1	vol. gâché avec	1	vol. sable	donne	10 k.
1	—	2	—		8
1	—	3	—		6.5
1	—	4	—		5.6
1	—	5	—		4.7
1	—	6	—		4.0
1	—	7	—		3.0
1	—	8	—		2.5
1	—	9	—		1.8
1	—	10	—		0.0

D'ordinaire dans la pratique, on ne dépasse guère 2 vol. de sable pour 1 vol. de ciment.

474. Mortiers de ciment de Portland. — Les mortiers de ciment de Portland se font de la même manière que ceux que l'on confectionne avec des chaux hydrauliques ; peut-être avec plus de soins, en raison du prix de la matière. On n'en gâche que la quantité strictement nécessaire et on

choisit du sable bien siliceux et bien propre, en évitant de le noyer avec une trop grande quantité d'eau.

On a vu que le sable diminue la dureté et la cohésion de la matière, aussi on règle la quantité employée suivant la résistance que doivent présenter les ouvrages à exécuter.

S'agit-il de murs très chargés ou devant donner à l'eau une étanchéité absolue, on mélangera parties égales de ciment et de sable. C'est cette proposition qu'il convient de donner aux enduits horizontaux que l'on étend entre deux assises de murs au-dessus du sol, sur une assise de petits matériaux, lorsque l'on veut garantir un rez-de-chaussée de l'humidité inférieure. C'est aussi cette proportion qu'il faut adopter pour des enduits de réservoirs et de citernes.

S'agit-il de constructions très chargées, mais ne demandant pas d'étanchéité absolue, la maçonnerie sera hourdée avec un mortier composé de 1 p. ciment et 2 parties de sable.

Pour des massifs encaissés, et chargés par de lourdes machines donnant des trépidations, ou pour des murs d'édifices très soignés, on emploiera 1 p. ciment et 3 parties de sable.

Pour remplacer des mortiers de ciments romains, on pourra prendre soit le mortier précédent, soit un mélange de 1 p. ciment et 4 p. sable.

Pour remplacer la chaux bydraulique on pourra atteindre 5 p. de sable ; mais,pour aller au-delà, il est nécessaire d'adopter les procédés de fabrication du béton Coignet, c'est-à-dire : peu d'eau,un encaissement et une forte compression. La résistance des mortiers de Portland a été étudiée dans l'art. 447.

475. Prix de règlement des mortiers. — Les prix de revient de la façon seule du mortier sont très variables suivant les appareils employés :

A la main il est d'environ 2 fr. 50 le mètre cube.

Au manège le prix se réduit à 1 fr. 20 et quelquefoie 1 fr.

Au manège mû par locomobile il est de 0 fr. 80. Nous extrayons de la série des prix de la Ville de Paris les sous-détails des prix applicables aux principaux mortiers usités dans le département de la Seine. Ils donnent non seulement les quantités de matières employées ainsi que le temps nécessaire pour la façon. Mais encore la quantité de chaux ou ciment en kilogrammes, et aussi la contraction correspondante.

EXTRAIT DE LA SÉRIE DES PRIX DE LA VILLE DE PARIS

Prix de règlement applicables aux divers mortiers.

MORTIER	Eléments des sous-détails	Quantités	Prix de l'unité	Produits
N° 1, composé de une partie de ciment et de cinq parties de sable de rivière... En ciment artificiel (dit de Portland) de Boulogne ou de Grenoble.	Sable de rivière..........	1 m. c.	7.00	7.000
	Ciment artificiel (dit de Portland) de Boulogne ou de Grenoble............	260 k.	8.00 100 k.	20.000
	Façon....................	6 h.	0.36	2.160
	Faux frais, 17 0/0 sur....	2.16	»	0.370
		Ensemble..	....	30.330
	Bénéfice, 10 0/0.	»	»	3.030
	Avances de fonds, 0.80 0/0.	»	»	0.240
			Prix....	33.60
N° 2, composé de une partie de chaux ou de ciment et de trois parties de sable de rivière : 1° Chaux en poudre du Bassin de Paris........	Sable de rivière..........	1 m. c.	7.00	7.000
	Chaux en poudre.........	0.33	20.00	6.000
	Façon....................	4 h.	0.33	1.440
	Faux frais, 17 0/0 sur.....	1.44	»	0.250
		Ensemble..	....	15.290
	Bénéfice, 10 0/0..........	»	»	1.530
	Avances de fonds, 0.80 0/0.	»	»	0.120
			Prix....	16.94
2° Chaux en poudre d'Échoisy, de Ville-sous-la-Ferté; chaux artificielle des Moulineaux ou de Bougival......	Sable de rivière..........	1 m. c.	7.00	7.000
	Chaux en poudre.........	0.33	23.00	7.590
	Façon....................	4 h.	0.36	1.440
	Faux frais, 17 0/0 sur....	1.44	»	0.250
		Ensemble..	....	16.280
	Bénéfice, 10 0/0..........	»	»	1.630
	Avances de fonds, 0.80 0/0.	»	»	0.130
			Prix....	18.05
3° Ciment de Bourgogne et du Bassin de Paris	Sable de rivière..........	1 m. c.	7.00	7.000
	Ciment..................	330 k.	5.00 100 k.	16.500
	Façon....................	8 h.	0.36	2.880
	Faux frais. 17 0/0 sur....	2.88	»	0.490
		Ensemble..	....	26.870
	Bénéfice, 10 0/0..........	»	»	2.690
	Avances de fonds, 0.80 0/0.	»	»	0.210
			Prix....	29.80

Prix de règlement de la série de la ville de Paris

MORTIER	Eléments des sous-détails	Quantités	Prix de l'unité	Produits
4° Ciment de la vallée du Serein	Sable de rivière..........	1 m. c.	7.00	7.000
	Ciment..................	330 k.	6.00 100 k.	19.800
	Façon..................	8 h.	0.36	2.880
	Faux frais. 17 0/0 sur....	2.88	»	0.490
		Ensemble..	....	30.170
	Bénéfice, 10 0/0..........	»	»	3.020
	Avances de fonds, 0.80 0/0.	»	»	0.240
			Prix....	33.45
5° Ciment surcuit du Bassin de Paris ou de la vallée du Serein..	Sable de rivière..........	1 m. c.	7.00	7.000
	Ciment..................	375 k.	6.50 100 k.	24.380
	Façon..................	8 h.	0.36	2.880
	Faux frais, 17 0/0 sur. ...	2.88	»	0.490
		Ensemble..	....	34.750
	Bénéfice, 10 0/0..........	»	»	3.480
	Avances de fonds, 0.80 0/0.	»	»	0 280
			Prix....	38.50
6° Ciment (dit de Portland) de Boulogne ou de Grenoble.........	Sable de rivière..........	1 m. c.	7.00	7.000
	Ciment..................	435 k.	8.00 100 k.	34.800
	Façon..................	6 h.	0.36	2.160
	Faux frais, 17 0/0 sur. ...	2.16	»	0.370
		Ensemble..	....	44.330
	Bénéfice, 10 0/0..........	»	»	4.430
	Avances de fonds, 0.80 0/0.	»	»	0.360
			Prix....	49.10
N° 2, composé de une partie de chaux ou de ciment et de trois parties de sable de rivière : 7° Chaux naturelle de Saint-Quentin........	Sable de rivière........ .	1 m c.	7.00	7.000
	Chaux..................	400 k.	9.00	36.000
	Façon..................	4 h.	0.36	1.440
	Faux frais, 17 0/0 sur....	1.44	»	0.240
		Ensemble..	....	44.680
	Bénéfice, 10 0/0..........	»	»	4.470
	Avances de fonds, 0.80 0/0.	»	»	0.360
			Prix....	49.50
N° 3, composé de une partie de chaux ou de ciment et de deux parties de sable de rivière: Le mortier composé de une partie de chaux ou de ciment et de deux parties de sable produit une augmentation de 0.08 par m. c. de sable employé..... 1° Chaux en poudre du bassin de Paris.	Sable de rivière..........	1 m. c.	7.00	7.000
	Chaux en poudre.........	0.50	20.00	10.000
	Façon..................	4 h.	0.36	1.440
	Faux frais, 17 0/0 sur....	1.44	»	0.240
		Ensemble..	....	18.680
	Bénéfice, 10 0/0..........	»	»	1.870
	Avances de fonds, 0.80 0/0.	»	»	0.150
	Total pour..............	1 m. 08	»	20.700
	Soit pour..............	1 m. 00	Prix	19.10

Prix de règlement de la Série de la ville de Paris.

MORTIER	Eléments des sous-détails	Quantités	Prix de l'unité	Produits
2° Chaux en poudre d'Echoisy, de Ville-sous-la-Ferté, chaux artificielle des Moulineaux ou de Bougival.	Sable de rivière..........	1 m. c.	7.00	7.000
	Chaux en poudre.........	0.50	23.00	11.500
	Façon....................	4 h.	0.36	1.440
	Faux frais, 17 0/0 sur.. .	1.44	»	0.240
		Ensemble..	....	20.180
	Bénéfice, 1 0/0..........	»	»	2.020
	Avances de fonds, 0.80 0/0.	»	»	0.160
	Total pour..	1 m. 08	»	22.360
	Soit pour................	1 m. 00	»	20.700
			Prix....	20.70
3° Ciment de Bourgogne et du bassin de Paris	Sable de rivière..........	1.00	7.00	7.000
	Ciment..................	500 k.	5.00	25.000
	Façon....................	8 h.	0.36	2.880
	Faux frais, 17 0/0 sur....	2.88	»	0.490
		Ensemble..	....	35.370
	Bénéfice, 10 0/0..........	»	»	3.540
	Avances de fonds, 0 80 0/0.	»	»	0.280
	Total pour..............	1 m. 08	»	39.190
	Soit pour................	1 m. 00	»	36.290
			Prix....	36.30
4° Ciment de la vallée de Serein,...........	Sable de rivière..........	1 m. c.	7.00	7.000
	Ciment..................	500 k.	6.00	30.000
	Façon....................	8 h.	0.36	2.880
	Faux frais, 17 0/0 sur....	2.88	»	0.490
		Ensemble..	....	42.870
	Bénéfice, 10 0/0..........	»	»	4.290
	Avances de fonds, 0.80 0/0.	»	»	0.340
	Total pour..............	1 m. 08	»	47.500
	Soit pour................	1 m. 00	»	43.970
			Prix....	44.00
5° Ciment surcuit du bassin de Paris ou de la vallée du Serein...	Sable de rivière..........	1 m. c.	7.00	7.000
	Ciment.	500 k.	6.50	32.500
	Façon....................	8 h.	0.36	2.880
	Faux frais, 17 0/0 sur....	2.88	»	0.490
		Ensemble..	....	42.870
	Bénéfice, 10 0/0..........	»	»	4.290
	Avances de fonds, 0.80 0/0.	»	»	0.340
	Total pour..............	1 m. 08	»	47.500
	Soit pour................	1 m. 00	»	43.9 7
			Prix....	44.00

Prix de règlement de la Série de la Ville de Paris

MORTIERS	Éléments des sous-détails	Quantités	Prix de l'unité	Produits
N° 3, composé de une partie de chaux ou de ciment et de deux parties de sable de rivière :	Sable de rivière..........	1 m. c.	7.00	7.000
	Ciment..................	650 k.	8.00	52.000
6° Ciment (dit de Portland) de Boulogne ou de Grenoble.........	Façon..................	6 h.	0.36	2.160
	Faux frais, 17 0/0 sur....	2.16	»	0.370
		Ensemble..	....	61.530
	Bénéfice, 10 0/0..........	»	»	6.150
	Avances de fonds, 0.80 0/0.	»	»	0.490
	Total pour..............	1 m. 08	»	68.110
	Soit pour...............	1 m. 00	»	63.120
			Prix....	63.10
7° Chaux naturelle de Saint-Quentin........	Sable de rivière..........	1 m. c.	7.00	7.000
	Chaux..................	600 k.	9.00	54.000
	Façon..................	4 h.	0.36	1.440
	Faux frais, 17 0/0 sur....	1.44	»	0.240
		Ensemble..	....	62.680
	Bénéfice, 10 0/0..........	»	»	6.270
	Avances de fonds, 0.80 0/0.	»	»	0.500
	Total pour..............	1 m, 08	»	69.450
	Soit pour...............	1 m. 00	»	64.300
			Prix....	64.30
N° 4, composé de une partie de chaux ou de ciment et une partie de sable de rivière tamisé :	Sable de rivière tamisé...	1 m. c.	10.00	10.000
	Chaux en poudre.........	4.00	20.00	20.000
(Le mortier ainsi composé pendant une augmentation de 0.48 par mètre cube de sable employé).	Façon..................	4 h.	0.36	1.440
	Faux frais, 17 0/0 sur.....	1.44	»	0.244
		Ensemble..	....	31.684
	Bénéfice, 10 0/0...	»	»	3.168
	Avances de fonds, 0.80 0/0.	»	»	0.253
1° Chaux en poudre du bassin de Paris......	Total pour..............	1 m. 48	»	35.105
	Soit pour...............	1 m. 00	»	23.720
			Prix....	23.70
2° Chaux en poudre d'Echoisy, de Ville-sous-la-Ferté, chaux artificielle des Moulineaux ou de Bougival......	Sable de rivière tamisé...	1 m. c.	10.00	10.000
	Chaux en poudre.	1.00	23.00	23.000
	Façon..................	4 h.	0.36	1.440
	Faux frais, 17 0/0........	1.44	»	0.244
		Ensemble..	....	34.684
	Bénéfice, 10 0/0.	»	»	3.468
	Avances de fonds, 0.80 0/0.	»	»	0.277
	Total pour..............	1 m. 48	»	38.429
	Soit pour...............	1 m. 00	»	25.950
			Prix....	25.95

Prix de règlement de la Série de la Ville de Paris.

MORTIERS	Eléments des sous-détails	Quantités	Prix de l'unité	Produits
3° Ciment de Bourgogne et du bassin de Paris.	Sable de rivière tamisé...	1 m. c.	10.00	10.000
	Ciment..................	1.000 k.	5.00	50.000
	Façon..................	8 h.	0.36	2.880
	Faux frais, 17 0/0 sur....	2.88	»	0.490
		Ensemble..	....	63 370
	Bénéfice, 10 0/0..........	»	»	6.337
	Avances de fonds, 0.80 0/0.	»	»	0.507
	Total pour...............	1 m. 48	»	70.214
	Soit pour...............	1 m. 00	»	47.440
			Prix....	47.45
4° Ciment de la vallée du Serein...........	Sable de rivière tamisé...	1 m. c.	10.00	10.000
	Ciment..................	1.000 k.	6.00	60.000
	Façon..................	8 h.	0.36	2.880
	Faux frais, 17 0/0 sur.....	2.88	»	0.490
		Ensemble..	....	73.370
	Bénéfice, 10 0/0..........	»	»	7.337
	Avances de fonds, 0.80 0/0.	»	»	0.587
	Total pour...............	1 m. 48	»	81.294
	Soit pour...............	1 m. 00	»	54.940
			Prix....	54.95
5° Ciment surcuit du bassin de Paris ou de la vallée du Serein...	Sable de rivière tamisé ..	1 m. c.	10.00	10.000
	Ciment..................	1.100 k.	6.50	71.500
	Façon..................	8 h.	0.36	2.880
	Faux frais, 17 0/0 sur.....	2.88	»	0.490
		Ensemble..	....	84.870
	Bénéfice, 10 0/0..........	»	»	8.487
	Avances de fonds, 0.80 0/0.	»	»	0.679
	Total pour...............	1 m. 48	»	94.036
	Soit pour...............	1 m. 00	»	63.540
			Prix....	63.55
6° Ciment (dit de Portland) de Boulogne ou de Grenoble.........	Sable de rivière tamisé...	1 m. c.	10.00	10.000
	Ciment..................	1.300 k.	8.00	104.000
	Façon..................	6 h.	0.36	2.160
	Faux frais, 17 0/0 sur....	2.16	»	0.367
		Ensemble..	....	116.527
	Bénéfice, 10 0/0..........	»	»	11.653
	Avances de fonds, 0.80 0/0.	»	»	0.932
	Total pour...............	1 m. 48	»	129.112
	Soit pour...............	1 m. 00	»	87.230
			Prix....	87.25

476. Béton. Composition. — On nomme béton un mélange homogène de cailloux ou de pierres cassées et de mortier.

Le mortier est généralement en chaux et sable.

Cette matière s'emploie seule et se moule dans un encaissement dans lequel elle est enserrée indéfiniment.

On la dispose par couches horizontales de 0 m. 20 et on pilonne chacune d'elles avec soin. Après durcissement on a un monolithe.

Les proportions des éléments du béton sont variables.

Ou bien les vides des cailloux ne sont pas remplis entièrement par le mortier et le béton est dit *maigre* ; ou ils sont remplis juste et on a le béton *plein* ; ou il y a excès du mortier et on a le béton *gras*.

Autant que possible on cherche à remplir juste le vide des cailloux qui est de 0,35 à 0,40, tandis qu'il atteint 0,40 à 0,45 pour la pierre cassée.

Les proportions les plus ordinaires sont les suivantes :

0,50 de mortier
0,80 de cailloux ou de pierre cassée.

On augmente un peu la proportion de chaux, lorsque le béton doit être étanche, lorsqu'il doit porter de grandes charges, ou lorsqu'il risque d'être découvert ou qu'on doit l'exécuter dans l'eau.

Les pierres cassées anguleuses sont toujours préférables aux cailloux dont la forme arrondie se lie moins.

477. Lavage des cailloux. — Il est indispensable pour avoir un bon béton que les cailloux soient très propres et exempts de terre et d'argile. On les mesure dans des brouettes à fond grillé et on les asperge d'eau avant le transport.

478. Fabrication du béton. — On prépare une aire comme pour faire du mortier, en pavage, dallage ou planches jointives. On mesure dans des brouettes jaugées les matériaux à mélanger, et on verse sur l'aire une première brouette de cailloux que l'on étale bien, puis à la pelle on jette dessus la quantité voulue de mortier; enfin on ajoute et on superpose une nouvelle brouettée de cailloux et une couche de mortier.

On triture l'ensemble, soit en la changeant de place à la pelle, soit en la remuant avec des *griffes*, sorte de fourche à dents recourbées figurée ci-contre.

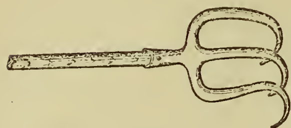


Fig. 756.

Plusieurs manœuvres armés de ces griffes rabotent le mortier successivement dans plusieurs sens jusqu'à homogénéité complète.

Ce broyage à la main est nécessairement dispendieux et incomplet. On l'améliore de la facon suivante :

On profite que presque toujours le béton est à employer pour les fondations à un étage en contrebas du sol où on le fabrique.

Au lieu de le faire glisser sur une *goulotte* en planches, allant au fond de fouille, on le fait tomber par un couloir en forme de caisse contenant des chicanes inclinées et sur lesquelles il subit une nouvelle trituration qui parachève le mélange.

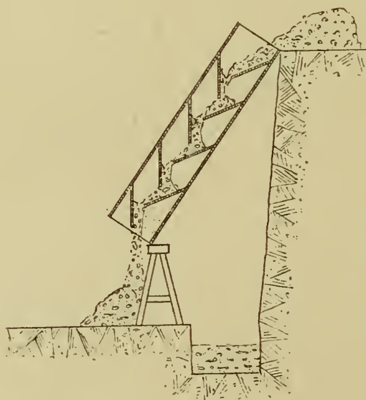


Fig. 757.

On l'amène à la goulotte soit par des wagons, soit par des brouettes. Souvent on le verse sur une aire d'où on le reprend à la pelle pour le verser dans la caisse, toute manipulation concourt à l'homogénéité.

On a donc profité de la chute du béton pour augmenter la façon du mélange sans grands frais.

La fig. 757 montre la manière d'installer une caisse de ce genre le long du bord d'une fouille servant à la fondation d'un bâtiment. On y voit le tas de béton préparé, celui qui est descendu, en même temps que les rigoles comprenant une partie de béton pilonné.

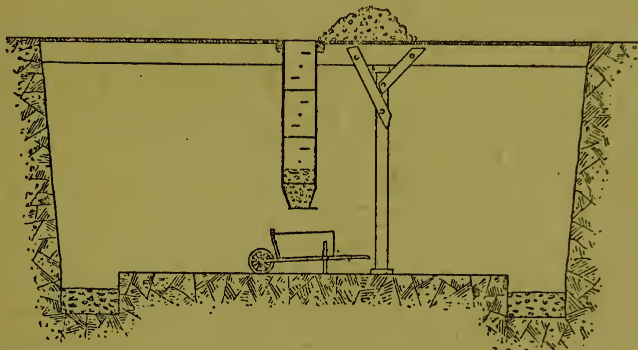


Fig. 758.

Dans d'autres cas, on trouve plus commodé, pour l'arrivée des matériaux nécessaires à la fondation d'un bâtiment, de jeter un pont d'une berge de la fouille à l'autre, et de lui donner une largeur de 5 à 8 mètres ; lorsque la fouille est longue on en met plusieurs et on les espace.

Ce pont est fait de quelques grosses traverses en sapin soutenues sur palées intermédiaires, et supportant un plancher en madriers.

Ce plancher sur lequel on roule le béton soutient un nombre convenable de *bétonnières.*

Ce sont des tubes en tôle, munis inférieurement d'une clef horizontale qui sert à les fermer ; ils ont 2 m. 00 de hauteur et environ 0,50 de diamètre, et à l'intérieur sont disposés des barreaux en fer espacés de 0,15 à 0,20 et disposés en hélice, qui brassent le mélange pendant la descente.

Les tubes sont toujours maintenus pleins de béton par les ouvriers qui sont sur le pont, et ceux du fond de fouille

emplissent facilement soit les brouettes soit les vagonnets qui servent à transporter le béton aux rigoles où on l'emploie.

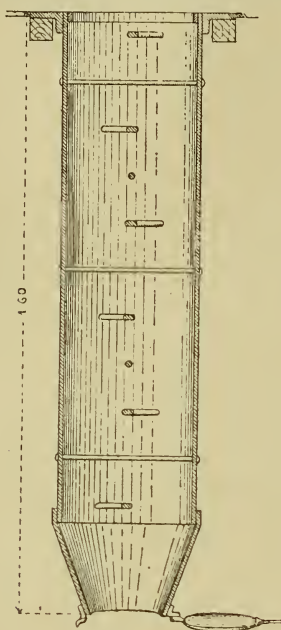


Fig. 759.

Lorsque le béton doit être employé au niveau du sol où on le fabrique et qu'on ne dispose pas de la hauteur de chute qu'exigent les bétonnières précédentes, on se sert de bétonnières horizontales, comme celle qui est figurée ci-contre.

Un cylindre en tôle est monté sur un axe horizontal autour duquel il peut tourner ; il contient des chicanes en tôle rivées intérieurement en hélice sur sa paroi. Un entonnoir permet de verser le béton du côté A et après avoir subi un certain nombre de rotations qui l'ont fait constamment basculer sur lui-même, il sort par l'extrémité B.

Ce cylindre peut être mu soit à bras, soit par manège et transmission, soit par moteur à va-

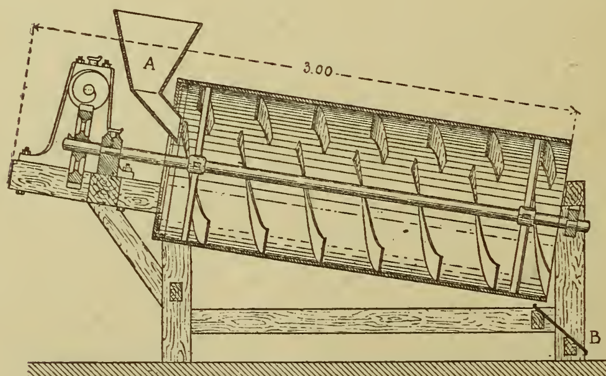


Fig. 760.

peur, par l'intermédiaire d'une poulie ou d'une courroie.

179. Prix de revient de la façon du béton. — La façon d'un mètre cube de béton varie suivant l'appareil employé, et la valeur de la journée des ouvriers.

Dans des conditions moyennes, le béton revient comme façon aux prix suivants :

à la main.	2 fr.	85
au couloir.	1	55
dans la bétonnière . . .	1	40

Nous extrayons de la série de prix de la ville de Paris les prix d'application relatifs aux travaux exécutés au béton.

Béton, — au m3	*De cailloux :* 0.50 de mortier et 0.80 cailloux lavés, compris façon du mortier et du béton, lavage des cailloux et pilonnage par couche de 0.20 (mortier avec emploi de chaux en poudre du bassin de Paris).	0.80 de cailloux à 7.25...	5.800	
		0.50 sable à 7.00........	3.500	
		0.165 chaux à 20.00.....	3.300	
		2 h. de limousin à 0.46..	0.920	
		9 h. de garçon à 0.36....	3.240	
		Faux frais, 17 0/0.......	0.707	
			17.467	
		Bénéfice, 10 0/0.........	1.747	
		Avances à 0.80 0/0......	0.140	
			19.354	19.35
Idem	*De meulière :* 0.50 de mortier et 0.80 de meulière concassée, compris façon du mortier, du béton, et pilonnage par couche de 0.20 d'épaisseur (mortier avec emploi de chaux en poudre du bassin de Paris).	0.80 meulière à 15.....	12.000	
		Traité et façon, compris faux-frais, comme ci-dessus	11.667	
			23.667	
		Bénéfice 10 0/0.........	2.367	
		Avances, à 0.80 0/0.....	0.189	
			26.225	26.20
Idem	*Plus-value :* 1° Pour emploi de chaux en poudre d'Echoisy, de Ville-sous-la-Ferté, ou de chaux artificielle de Moulineaux et de Bougival.	....		0.55
	2° de ciment de Bourgogne et du bassin de Paris...	....		6.40
	3° de la Vallée du Serein.	....		8.25
	4° de ciment surcuit de Bourgogne et du bassin de Paris..............	....		10.80
	5° de ciment dit de Portland, ou de ciment de Grenoble............	....		16.15

480. Pilonnage et emploi. — Le pilonnage doit être fait avec beaucoup de soin, c'est de cette opération que dépend la cohésion future. On ne dépasse pas une épaisseur de couche de 0,20 sans pilonner énergiquement Ce pilonnage se fait de suite avant la prise du mortier.

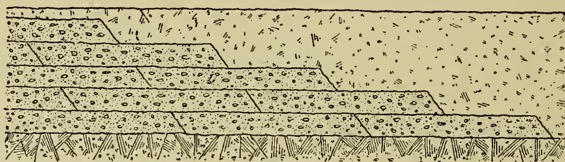


Fig. 761.

Il faut procéder par redans successifs, de telle sorte que si l'on fait la coupe en long d'un encaissement on obtient la figure 761, où l'on voit les diverses couches et les arrêts dans chaque couche.

Si on avait à faire des bétons étanches, il faudrait organiser le chantier de manière à procéder sans interruption pour éviter les soudures ; et si on ne pouvait les éviter, il faudrait les rafraîchir à chaque reprise en enlevant la surface, et y mettre un petite couche de mortier seul pour faciliter la liaison.

Le béton ne peut constituer de surfaces verticales ; il s'égrénerait facilement, au moins dans le commencement de sa construction ; en outre il ne donne pas un parement assez régulier. Il est donc absolument indispensable de le loger dans des encaissements et ces derniers sont presque toujours taillés à même dans le sol pour la fondation des bâtiments.

On peut faire des encaissements en bois lorsque l'on n'a pas le sol à sa disposition. C'est ce qui arrive fréquemment dans les travaux hydrauliques. Dans ce cas le bois doit se conserver longtemps, et être toujours immergé pour protéger les parois du béton. On y ajoute souvent des talus en pierre que l'on nomme des enrochements et qui protègent encore les surfaces après la disparition du bois.

On peut également faire des encaissements en maçonnerie qui

donnent de très bons résultats. Ainsi dans les pays où les matériaux seraient rares et le cailloux abondant, on ferait facilement un mur de soutennement avec un parement de meulières ou de moellons sur une épaisseur d'environ 0 m. 50, le restant de chaque assise étant formée d'une couche de béton.


Fig. 62.

Il faut seulement avoir soin dans une construction de ce genre de ne pilonner une couche que lorsque la précédente a fait prise pour ne pas déranger le parement dans cette opération.

La quantité d'eau que doit contenir le béton doit être réduite de manière à avoir une pâte assez ferme que le pilonnage rend compacte.

Si on met trop d'eau il y a séparation entre les éléments le cailloux d'un côté et le mortier de l'autre, et le pilonnage se fait mal.

481. Résistance des bétons. — On a fait peu d'expériences sur la résistance des bétons; se fondant sur ce fait toujours observé que l'adhérence de la chaux avec le sable est plus forte que sa propre cohésion, on en déduit que la résistance d'un béton, du moment qu'il est homogène, est au moins égale à la résistance du mortier qui a servi à le fabriquer.

482. Béton coulé dans l'eau. — Le béton confectionné avec de la chaux hydraulique peut être coulé dans l'eau. Il y a dans cette opération à prendre toutes les précautions nécessaires pour qu'il ne soit pas délavé dans l'immersion.

1° On emploie du mortier gras, de telle sorte qu'il ne devienne pas trop maigre par le lavage qui se produit toujours en petite quantité.

3° On l'immerge dans une eau rendue stagnante par une enceinte quelconque, qu'elle soit faite par un bâtardeau ou un caisson en bois.

3° On a soin de préparer le fond pour le rendre propre à

recevoir le béton, en le draguant et le nettoyant le mieux possible.

4° On descend lentement le béton dans des caisses fermées sur le côté et dont le fond ne s'ouvre qu'au fond de l'eau pour éviter à la matière une chute verticale qui la délayerait.

5° On produit toujours dans cette descente une certaine quantité de carbonate de chaux qui se précipite dans l'eau et forme ce que l'on nomme des laitances. On s'arrange de manière à accumuler ces laitances dans un angle bas du travail et on les enlève avec une pompe pour éviter les défauts de cohérence qu'ils produiraient dans les constructions.

483. Bétons de ciment romain. — Il ne faut pas faire de bétons avec les ciments romains à prise rapide. On ne peut compter sur un travail régulier et régulièrement résistant.

Si le pilonnage avait lieu pendant la prise, et en raison de la rapidité de cette dernière, il est impossible qu'il en soit autrement, celle-ci serait dérangée, et le mortier n'acquerrerait aucune dureté, aucune consistance.

Il vaut mieux faire les bétons avec de la chaux mélangée de Portland, qui prend lentement mais acquiert une grande cohésion.

484. Béton Coignet, dit aggloméré. — Ce béton diffère essentiellement du précédent par l'absence complète de cailloux. Ce n'est en somme que du mortier.

M. Coignet le fait par un mélange homogène de sable, d'un peu de chaux et dans certains travaux spéciaux on y ajoute un peu de ciment, lorsqu'on a besoin d'obtenir une solidité plus grande qu'à l'ordinaire, ou d'accélérer la prise.

On ne met que la quantité d'eau strictement nécessaire à la prise du mortier et l'on pilonne énergiquement dans une enceinte en sol, en maçonnerie ou en planches. Le pilonnage se fait par couches minces de 0,04 à 0,05.

L'adhérence est suffisante pour qu'on puisse démouler de suite et il reste une pierre qui acquiert en peu de temps la dureté des pierres naturelles.

Cette cohésion vient du rapprochement des matériaux par la

compression due aux chocs du pilon, le peu d'eau ajoutée permet ce rapprochement, et la carbonatation se fait assez vivement de telle sorte que le bloc ne redoute bientôt plus aucune désagrégation.

On prend de la bonne chaux hydraulique dont on écarte d'une façon absolue les surcuits et les incuits, et il est prudent de préparer soi-même la chaux en poudre.

Lorsqu'on y ajoute du ciment c'est toujours du ciment à prise lente ; le ciment à prise rapide contient de l'argile libre qui aiderait à la désagrégation.

Le sable doit être du sable de rivière parfaitement lavé. Quand il est gros, le béton est rugueux, mais il prend bien. Quand il est fin, le durcissement est moindre, la chaux étant trop divisée, et il est bon de forcer un peu la dose de la matière agglutinante.

Mélange. — Les matériaux étant réunis sur le chantier on procède à leur mélange après dosage rigoureux des proportions qui conviennent au genre d'ouvrage à exécuter.

D'ordinaire on admet les proportions suivantes :

1 de chaux
4 de sable.

Le mélange se fait mécaniquement.

Pour la trituration, on se sert de plusieurs genres d'appareils suivant la quantité de mortier à préparer à la fois.

L'un d'eux est un malaxeur de même principe que celui que l'on adopte pour le mortier ordinaire, et qui est représenté dans le croquis suivant. Fig. 763.

Sur un bâti convenablement disposé se trouve le malaxeur, caisse verticale en tôle, cylindrique, avec un arbre central muni de palettes et susceptible de prendre un mouvement de rotation.

Une chaîne à godet prend le mélange préparé grossièremant d'avance près de l'appareil, mais à sec, et le monte un peu plus haut que l'ouverture du malaxeur.

Elle le déverse dans un couloir qui y conduit, un robinet verse l'eau d'une façon continue et une vanne inférieure laisse s'échapper le mortier également d'une façon continue.

On règle l'admission des matières, celle de l'eau et enfin la sortie pour que l'homogénéité du produit soit constante.

Les pilons employés sont représentés fig. 764, ils se composent d'un bloc en bois armé d'une frette supérieure et

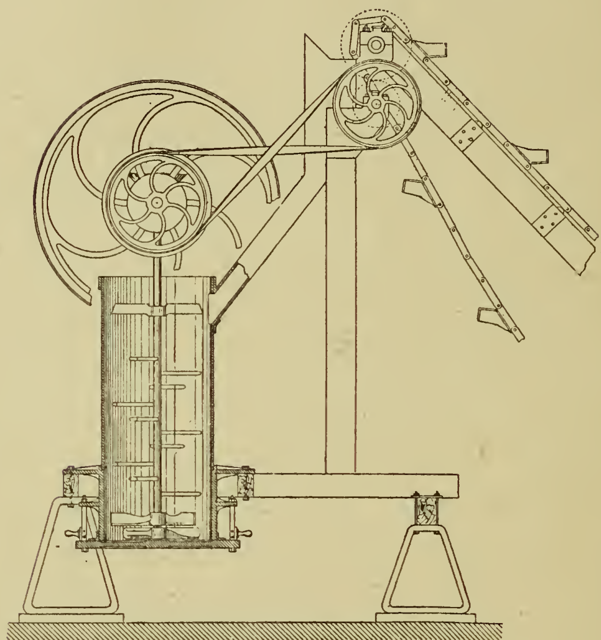


Fig. 763.

d'une semelle en fer épais de 0 m. 30 de longueur et 0.05 de largeur le tout est fixé à un manche de 1,00 de longueur.

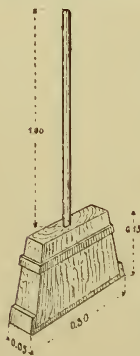


Fig. 764.

On obtient avec cet outil, en pilonnant successivement dans deux sens perpendiculaires, un pilonnage tel qu'il faut 15 à 16 hectolitres de béton pour faire 1 mc. de matière tassée.

On fait ainsi des massifs, des dallages et même des murs.

Pour faire des murs en élévation on travaille entre banches comme nous l'avons vu avec le pisé de mâchefer. Une assise terminée on décintre et on reporte les banches plus loin ou plus haut.

Lorsqu'on doit ménager des fenêtres dans le

mur, on établit entre les branches des panneaux verticaux ayant comme largeur l'épaisseur du mur et qui sont munis de la pente et de la saillie nécessaires pour faire de chaque côté le tableau, la feuillure et l'ébrasement de la baie, fig. 765.



Fig. 765.

Le prix de revient du béton Coignet est d'environ 45 à 50 fr. le mc.; comparé à la pierre de taille qui vaut 150 à 200 fr., il est économique. Il n'en est pas de même dans les pays où l'on dispose de déchets de matériaux secs et froids ou de meulière qu'on puisse employer avec du mortier de ciment, Ces matériaux permettent en effet, d'obtenir des maçonneries dont le prix varie de 15 à 30 francs le mètre cube, suivant le pays.

On fait en bétons agglomérées des pierres factices moulées.

Les proportions employées par MM. François Coignet et Cie à Asnières pour les différents objets de leur fabrication sont les suivantes :

Pour les pierres, dalles, caniveaux, chapiteaux, tampons, etc. :

5 p. sable
1 p. chaux
1 p. ciment.

C'est également la proportion que l'on emploie pour les dallages. On étend ces derniers sur un béton préalable et on les plane avec une batte ; puis on lisse avec une large truelle.

Pour les réservoirs on emploie :

5 p. sable
1 p. chaux
1/2 p. ciment.

Pour les égoûts :

5 p. sable
1 p. chaux
1/4 p. ciment.

Pour les massifs de machines, si on n'est pas pressé on prend la proportion suivante :

5 p. sable
1 p. chaux.

Si on veut un durcissement rapide, on ajoute 1/4 de ciment en plus.

En moyenne ce mortier résiste à 25 à 30 kg. à la traction.

Il va jusqu'à 300 et même 500 kg. par cmc. à la compression.

Dans l'application du béton Coignet à la confection des voûtes on a constaté le fait suivant qui s'est produit à un ouvrage exécuté au chemin de fer du Nord, c'est que les couches inférieures s'en allaient l'une après l'autre et se délitaient petit à petit.

La cause de cette désagrégation tenait à ce que on avait pilonné verticalement au lieu de pilonner perpendiculairement aux joints hypothétiques des voussoirs.

C'est en effet lorsque la pression s'exerce dans le même sens que le pilonnage que l'on obtient le maximum de résistance.

De plus, le pilonnage sur les cintres en bois donnait lieu à des trépidations qui nuisaient à la cohérence du mortier.

185. Action de l'eau de mer sur les mortiers. — La composition de l'eau de mer est la suivante : 35 kg. par mc. de résidus salins dont voici la composition.

Chlorure	sodium	76,5	100,00
	potassium . . .	2,0	
	magnésium. . .	10,2	
Sulfate	magnésie . . .	6,5	
	chaux	4,0	
Divers.		0,8	

Si on traite l'eau de mer par l'eau de chaux, il se forme un précipité de magnésie.

Même réaction si l'on immerge des chaux grasse ou hydraulique ou du mortier, en eau de mer. Mais l'action est limitée aux parties en contact.

Si on immerge dans la mer des blocs artificiels en béton dont la surface soit carbonatée et imperméable, aucune action.

Si l'eau peut pénétrer à l'intérieur du bloc sans s'y renouveler l'action est faible mais s'arrête de suite et n'a pas de conséquence au point de vue de la résistance de l'ouvrage.

Si par suite des courants ou des vagues, l'eau peut se re-

nouveler constamment dans l'intérieur de blocs incomplètement pris et contenant de la chaux libre, il y a réaction constante, enlèvement de la chaux remplacée par de la magnésie, le mortier s'appauvrit et amène en peu de temps une désagrégation complète du bloc, et la ruine de l'ouvrage.

La nature de la chaux influe beaucoup sur cette désagrégation.

Dans la Méditerranée, on emploie la chaux du Teil ; dans l'Océan et la Manche le ciment de Portland, dans la mer du Nord la chaux hydraulique avec trass de Hollande.

Mais ce qui influe surtout sur la résistance des blocs c'est la compacité de leurs surfaces.

Le sulfate de chaux introduit frauduleusement ou naturellement dans les mortiers est une forte cause de désagrégation. Il se dissout dans l'eau et donne de la porosité qui facilite l'accès à l'eau. D'autres fois chauffé très fortement, il se surcuit, ne s'hydrate qu'à la longue et par gonflement produit les mêmes résultats.

Pour les ciments qui ne contiennent pas de chaux libre on explique l'action destructive de l'eau de mer de la façon suivante (Théorie Rivot) :

L'aluminate de chaux peu stable est décomposé par les sels de magnésie et même par l'eau, il en résulte de la chaux ou un sel soluble et de l'alumine libre ou combinée à la magnésie.

Le silicate de chaux subirait une action semblable, mais plus lentement ; le silicate double d'alumine et de chaux produit à haute température dans les Portlands serait encore moins sensible.

Il en résulterait que les chaux ou ciments argileux seraient peu stables, les chaux siliceuses davantage et les Portland encore plus ; mais qu'aucun de ces corps ne saurait résister à l'eau de la mer continuellement renouvelée.

Il faut donc que l'eau de mer ne puisse traverser les travaux à la mer ; il faut donner à ceux-ci la plus grande compacité possible, faire les dosages en conséquence, obtenir une enveloppe en chaux carbonatée inattaquable et imperméable.

Il se forme quelquefois sur les ouvrages des dépôts calcaires naturels qui les protègent ; les végétaux et animaux qui

s'implantent sur les ouvrages et, surtout les derniers, sont des agents éminemment protecteurs.

Quant à la fabrication des mortiers, l'emploi de l'eau de mer pour le gâchage non seulement ne paraît pas nuisible, mais encore semblerait leur donner une augmentation de résistance. C'est toutefois un point douteux, sur lequel on doit provisoirement faire toutes réserves.

CHAPITRE XII

DU PLATRE

SOMMAIRE :

486. Gisements de la pierre à plâtre. — 487. Extraction du gypse. — 488. Principales propriétés du gypse. — 489. Cuisson de la pierre à plâtre, au bois, en culées. — 490. Cuisson à la houille. — 491. Broyage du plâtre. — 492. Ensemble d'une usine à plâtre. — 493. Du plâtre pour le moulage. — 494. Qualités du plâtre. Conservation du plâtre. — 495. Différents plâtres du commerce. — 496. Du mortier de plâtre. — 497. Résistance du mortier. — 498. Action de l'humidité. — 499. Salpêtrage. — 500. Matériaux factices à base de plâtre. — 501. Plâtre aluné. — 502. Stucs. — 503. Staff.

CHAPITRE XII

DU PLATRE

---

486. Gisements de la pierre à plâtre. — Le plâtre est du sulfate de chaux anhydre. On le prépare au moyen des gisements de pierre à plâtre ou *gypse*, roche naturelle, que l'on rencontre dans bien des pays en gisements importants et compacts, mais qui est moins répandue que le carbonate calcaire. Le gypse est du sulfate de chaux hydraté. On le trouve en amas lenticulaires dans les couches du *trias*, associé souvent au sel gemme. On le rencontre également dans les couches inférieures du terrain tertiaire, où il se trouve compris dans de grands dépôts de marnes. C'est à cette formation qu'appartient le gypse des environs de Paris. Il se montre toujours au-dessus des pierres calcaires et paraît être de formation plus récente.

On trouve encore le sulfate de chaux dans la nature à l'état anhydre, sous le nom d'anhydrite, mais ne présentant pas les propriétés du plâtre ; c'est une roche dont on se sert dans la décoration pour imiter les albâtres et les marbres.

En France, on rencontre le gypse non seulement dans le bassin de Paris mais encore dans beaucoup d'autres localités, entre autres dans les Alpes et les Pyrénées ; le plâtre de Paris et celui d'Aix en Provence sont les plus estimés. Ceux de la Savoie (Saint-Jean de Maurienne) sont inférieurs.

487. Extraction du gypse. — Comme pour les calcaires carbonatés, on procède à l'exploitation du gypse soit par galeries, soit à ciel ouvert, suivant les cas : à Paris l'extraction se fait presque toujours par longues galeries. On le débite en

moellons qui coûtent moins à extraire, et se transportent plus commodément. Comme la roche est compacte, on donne généralement aux galeries une grande hauteur, mais il y a à prendre de prudentes précautions, la pierre humide étant friable et traversée par de nombreux fils. Il y a en superposition plusieurs couches très distinctes et de qualités et valeurs diverses : on les mélange pour obtenir un produit moyen, constant et régulier; mais quand on veut obtenir des plâtres de qualités exceptionnelles, il faut faire choix des meilleures couches et les traiter à part.

On distingue plusieurs variétés de plâtre dans les carrières, indépendamment des couches dont il vient d'être question, et d'après la nature même de la matière, ce sont :

1° Le *gypse filamenteux,* d'aspect cristallin, qui donne par une cuisson séparée un plâtre spécial servant aux sculpteurs.

2° Le *gypse* ordinaire, ou pierre à plâtre proprement dite, qui constitue la presque totalité de la masse.

3° Le *sélénite* ou *gypse feuilleté*, qui se trouve en gros cristaux qui se clivent facilement en lamelles brillantes. C'est parmi ces gypses feuilletés que se rangent les cristallisations en fers de lances que l'on trouve dans presque toutes les carrières. Ce plâtre cristallisé est cuit à part comme le gypse filamenteux et on en obtient des produits qui ont des applications spéciales dans le moulage.

4° L'*alabastrite*, ou faux *albâtre*, présente l'apparence du marbre blanc, tout en étant beaucoup moins dure, et est réservée à la fabrication d'ornements divers.

Le gypse ordinaire n'est pas toujours très pur, il est souvent mélangé de 10 à 12 pour cent de calcaire, d'argile ou de sable. C'est à la présence du calcaire carbonaté que l'on a longtemps attribué la supériorité du plâtre de Paris, sans qu'on ait pu en trouver une certitude.

D'après Château (I, 604), la composition de la pierre à plâtre de Paris est d'ordinaire.

Sulfate de chaux. .	70,39
Eau.	18,77
Carbonate de chaux.	1,63
Argile	3,21

Le calcaire, ralentissant la prise, peut par cela même favoriser le durcissement.

Les principales carrières de plâtre des environs de Paris sont : Pantin, Ménilmontant, Montreuil, Argenteuil, Triel.

488. Principales propriétés du gypse. — Le gypse ne fait pas effervescence avec les acides et ne donne pas d'étincelles au choc de l'acier.

Il est un peu soluble dans l'eau. Celle-ci en dissout deux grammes par litre. Chargée de sulfate de chaux, elle est dite séléniteuse ; c'est l'eau *dure* ou l'eau *crue* des environs de Paris, elle ne prend pas le savon et ne cuit pas les légumes.

Le gypse doit sa valeur à sa principale et remarquable propriété qui est la suivante :

Chauffé de 100 à 150°, il perd son eau de cristallisation, deux équivalents chimiques, et il devient friable, se réduit facilement en poudre, et cette poudre est le *plâtre*. Le plâtre mis en contact avec l'eau forme d'abord une pâte liante, qui au bout de quelques minutes, se prend en masse, se solidifie, et acquiert par la dessiccation une solidité remarquable, en reproduisant la roche hydratée primitive. Cette propriété, jointe à une adhérence très marquée sur toutes les surfaces, rend le plâtre très précieux dans la maçonnerie. On en constitue l'un des meilleurs mortiers du constructeur, lorsque son emploi est en rapport avec ses qualités.

Lorsque la température de cuisson a été poussée trop loin, et a dépassé par exemple une moyenne de 200°, les propriétés qui viennent d'être indiquées sont atténuées, le gypse ne reprend plus son eau que lentement et au point de vue du maçon il constitue de mauvais plâtre.

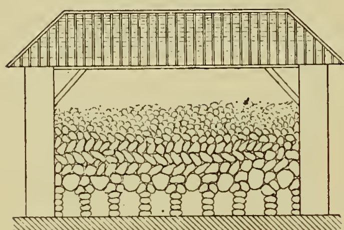
Le poids du gypse est diminué d'un quart environ par le départ de l'eau d'hydratation.

Le plâtre a sur la chaux l'avantage de n'être pas caustique ; on peut le manier sans précautions spéciales.

489. Cuisson de la pierre à plâtre au bois, en culées. — La pierre à plâtre se cuit généralement près du lieu d'extraction, et la cuisson ne se faisant qu'à basse température (130 à 140°) ne demande pas une installation compliquée.

Le plâtre qu'on y traite est pris tout venant tel qu'il sort de la carrière ; tout au plus casse-t-on les plus gros moellons. La disposition du four est elle-même de la plus grande simplicité.

On construit un bâtiment composé de 3 côtés fermés par des murs ; le 4e, ouvert en avant ; il est couvert en tuiles à claire voie, et disposé comme le représente la figure 766.



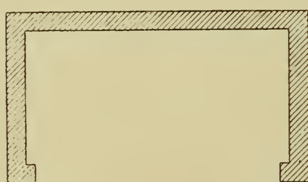


Fig 766.

Le mur du fond a 4 m. 50 à 5,00 de hauteur, on établit le long de ce mur et parallèlement aux petits côtés du bâtiment des murets en grosses pierres de gypse, recouverts de voûtes dans lesquelles sont ménagés des interstices. On continue au-dessus à charger le gypse en mettant des morceaux de moins en moins gros, et on couvre par les déchets de carrière. Cela fait, on met sous les voûtes des fagots que l'on allume et on maintient le feu pendant 10 à 15 heures suivant la qualité du bois, l'état de l'atmosphère et la hauteur du tas.

Pendant la cuisson, la vapeur d'eau se mélange à la fumée et s'échappe par les interstices de la couverture.

Cette sorte de four ouvert formé par 3 murs porte le nom de *culée*.

On brûle par m.c. de pierre à plâtre 150 à 200 kg. de bois.

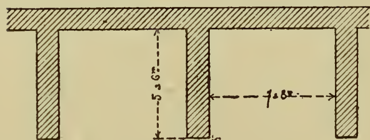


Fig. 767.

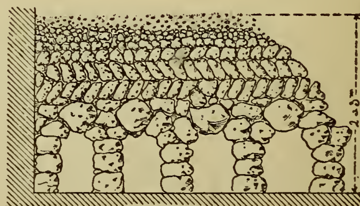


Fig. 768.

Dans les installations importantes, on a un bâtiment très

long, divisé avantageusement par des refends, en 6 à 8 *culées* ou plus, comme l'indique la figure 767 :

Chaque culée a 7 à 8 m. 00 de largeur sur 5 à 6 m. 00 de profondeur. Il y a avantage à placer ainsi les culées les unes à côté des autres, on y trouve une notable économie de construction en même temps qu'une grande facilité de surveillance.

Dans chaque culée on place la pierre à plâtre comme il a été dit plus haut et comme l'indique la figure 768 ; des piliers en gros moellons, recouverts par une voûte, réservent les galeries nécessaires pour loger le combustible, et au-dessus, on range les fragments en commençant par les plus gros et terminant par les menus et les poussiers qui recouvrent le tout; le tas a 2 à 3,00 de hauteur. Lorsque le feu est allumé, on profite de la chaleur qui se dégage en avant du tas pour cuire encore une certaine quantité de pierre qu'on y adosse, et qui sert également à régler le tirage.

490. Cuisson à la houille. — Depuis longtemps, en vue de faire des économies sur le combustible, on a cherché à remplacer le bois par la houille. Les premiers essais n'ont pas donné de résultats convenables, le plâtre paraissait perdre de ses qualités, semblait plus hygrométrique. On mettait la dépréciation sur le compte du soufre du combustible ; on a ensuite pensé à l'oxyde de carbone qui se produit plus facilement dans la combustion de la houille et qui exerçait un effet réducteur sur le sulfate de chaux en produisant du sulfure de calcium.

On a alors imaginé une série de fours disposés en principe pour séparer la houille de la pierre, opérer la combustion dans un foyer surmonté d'un espace assez grand pour développer les gaz, puis mettre ces gaz chauds et bien brûlés en contact avec le gypse ; c'est ainsi qu'étaient disposés les fours Scanegatti, Mabille, etc., qui ont eu une certaine réputation.

On a trouvé dans tous ces essais de fours spéciaux de médiocres résultats et l'on est revenu aux anciens fours à culées qui paraissent encore les meilleurs, parce que l'ouvrier est maître de son feu et de la régularité de la cuisson. Seulement on emploie maintenant avec ces culées les combustibles minéraux, houille ou coke.

On emploie la houille, genre Charleroy pour les plâtres destinés aux travaux de Paris, parce qu'ils sont plus gris, la fumée ayant noirci l'extérieur des blocs, et que cette teinte ne nuit pas puisque les parements sont toujours recouverts de peintures.

On emploie le coke pour les plâtres destinés aux travaux de province, où souvent les enduits et plafonds restent crûs et ont besoin, pour cette cause, de plus de blancheur.

Avec la houille, les piédroits qui séparent deux voûtes successives sont doubles d'épaisseur. Pour le coke la construction du tas se fait comme pour le bois.

Avant de fermer les voûtes on étend une ligne de fagots, on met par dessus la charge de combustible, puis on monte le tas de plâtre. On n'achève de mettre toute la pierre que quelques heures après l'allumage, ce qui permet de régulariser le passage des gaz d'après le vent et la manière dont il s'est comporté jusque-là. On bloque aussi le devant du tas pour profiter de la chaleur perdue en avant.

On maintient quelquefois avec des tôles le devant des tas pour retenir les menus pendant la cuisson.

On a essayé de ménager dans quelques installations des cheminées dans les murs des culées pour régulariser le tirage. Cela n'a donné que de fâcheux résultats et on y a renoncé.

Au bout de quelque temps de cuisson, la partie basse des tas est cuite, le feu est consumé, et la partie haute cuit alors par communication simple, et de proche en proche, de la chaleur contenue dans la partie plus basse.

Au bout de 2 à 3 jours, suivant la dimension du tas, la cuisson est complète. On laisse refroidir et on défourne.

La matière est devenue friable. On la casse en morceaux un peu comme du macadam, et on sépare les incuits qu'on reconnaît à leur texture restée cristalline et à leur teinte jaune. Ils seront repassés à une cuisson suivante. Si quelque partie était trop cuite, ce que l'on verrait à une teinte jaunâtre extérieure, on les séparerait, et ils se mêleraient aux poussières et déchets que l'on réserve pour l'agriculture comme amendement.

La pierre cuite, concassée grossièrement comme on l'a vu, passe à l'atelier de broyage.

491. Broyage du plâtre. — Le broyage du plâtre se faisait autrefois à la main par un simple battage ; plus tard on l'a fait dans des moulins à noix mus par manège. Aujourd'hui, on emploie presque exclusivement les meules verticales, qui sont chargées de l'écraser sur une piste en fonte. La disposition est représentée en coupe verticale dans la figure 769.

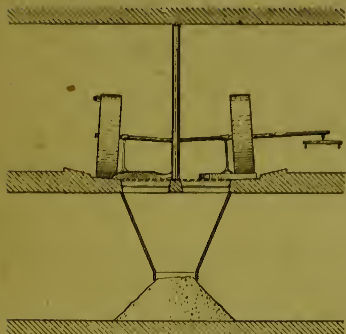


Fig. 769.

Sur une piste circulaire roulent deux meules en fonte ou en granit ; l'extérieur du chemin d'écrasement est relevé tandis que le cercle intérieur est occupé par une toile métallique suffisamment soutenue par dessous. On charge le plâtre concassé à la pelle ; la meule en tournant écrase la matière, et après chaque passage un ramasseur en tôle chasse latéralement la poussière sur la grille tandis qu'un autre sabot courbé en sens inverse ramène sous la meule suivante les parties insuffisamment écrasées. Le mouvement est donné par un manège pour les petites installations, et par une machine à vapeur dans les usines plus importantes.

Le plan de ces meules est indiqué dans la figure 770. On leur donne environ 1,80 à 2,00 de diamètre, et 0 m. 25 à 0, 30 de largeur, plus la largeur est grande, et plus le mouvement de roulement se complique d'un glissement sur place qui est très favorable à l'écrasement.

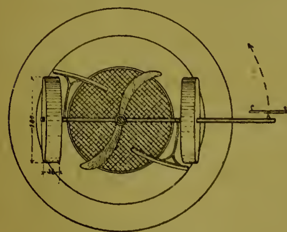


Fig. 770.

Le tamisage grossier qui se fait par la grille du milieu détermine une poussière très intense qui perd la marchandise fine, et gène considérablement les ouvriers ; on l'évite en grande partie par la disposition suivante. On met en dessous de la grille une trémie en forme d'entonnoir, avec un large débouché à la partie basse, et cet orifice est maintenu continuellement fermé par la partie haute du tas de plâtre qu'on laisse s'accumuler, et que l'on ne prend que pour empêcher la trémie de s'engorger.

Lorsque les meules sont mues par manège, on peut atteler directement la flèche à l'arbre des meules, ou bien agir par l'intermédiaire d'engrenages. Lorsqu'on emploie un moteur à vapeur, l'arbre des meules reçoit par engrenages ou courroies le mouvement de la transmission générale de l'usine.

Comme le montrent les figures précédentes, il est commode d'opérer l'écrasement au premier étage de l'atelier pour recevoir le produit au rez-de-chaussée.

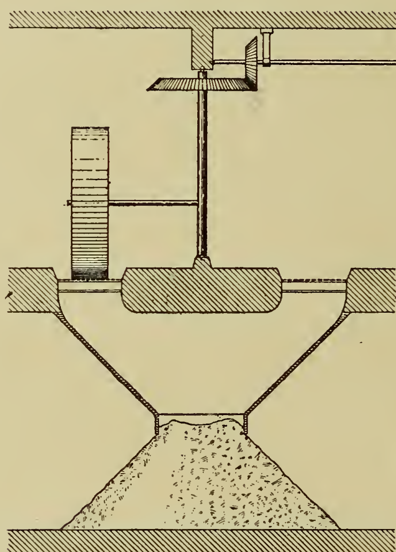


Fig. 771.

Une autre disposition, fig. 771, consiste à établir solidement, sur une grille convenablement soutenue, la piste formée d'une tôle percée de trous et sur laquelle roulera et tournera une meule unique ; la trémie, dans ce cas, a la dimension du cercle extérieur parcouru par la meule, et les ramasseurs se réduisent à des tôles qui déplacent latéralement une ou deux fois la matière après chaque révolution de l'outil.

Cette disposition présente l'inconvénient de laisser passer difficilement la poudre de plâtre à travers la tôle perforée dont les orifices s'engorgent facilement. Il faut, pour avoir une

marche normale et un fonctionnement régulier, mettre à la fois peu de marchandise en broyage.

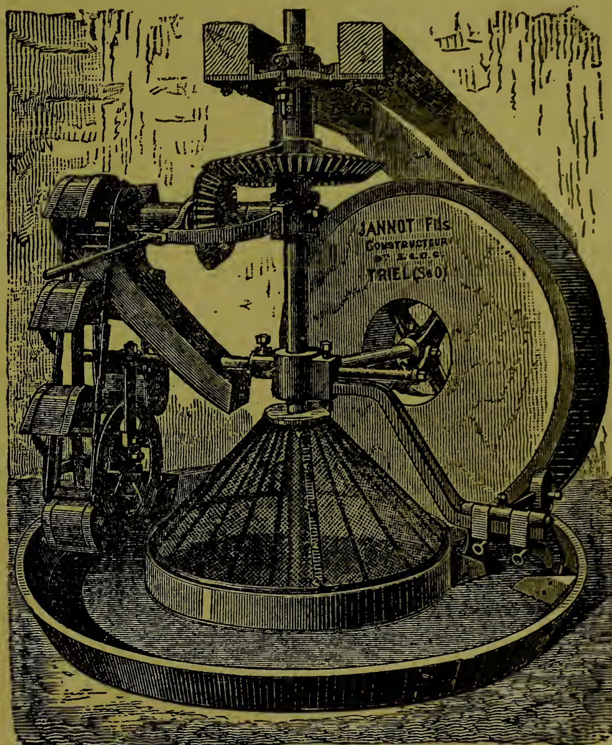


Fig. 772.

Une disposition qui donne des résultats beaucoup plus avantageux est représentée fig. 772 ; elle consiste dans une piste formée d'une auge circulaire en fonte à bords relevés tant à l'extérieur qu'à l'intérieur.

L'arbre vertical qui passe au centre entraîne l'axe de la meule qui parcourt la piste en roulant et en écrasant la matière. Il porte de plus tout le mécanisme d'une chaîne à godets, chargée de recueillir le plâtre écrasé sitôt le passage de la meule, de l'élever, et de le rejeter au centre sur une toile métallique disposée en cône, et qui séparera les portions suffisamment fines. Tout ce qui n'est pas suffisamment broyé

retombe dans l'auge, est ramené au centre de la piste par des ramasseurs, et reçoit une nouvelle passe de broyage ; et ainsi de suite à chaque tour. Le service de cet appareil consiste à le maintenir suffisamment garni de marchandise. On le place, comme nous l'avons dit pour les appareils précédents, au 1er étage de l'atelier, pour recueillir en dessous la poudre obtenue.

Dans d'autes usines, la mouture du plâtre continue à se faire dans un outil, que l'on nomme un moulin à noix, qui est en grand la reproduction du mécanisme des moulins à café.

La disposition la plus perfectionnée de ces moulins à noix est représentée fig. 773.

Une boîte en fonte est assujettie à un plancher. Elle forme un peu l'entonnoir à sa partie haute et est garnie intérieurement d'une série de saillies héliçoïdales dans un sens.

Elle porte en plus un collier pour maintenir dans son axe un arbre vertical.

Sur l'arbre est calée une noix en fonte, conique et arrondie supérieurement; elle est garnie de saillies héliçoïdales de sens contraires aux précédentes, et les saillies des deux pièces, d'abord écartées, se rapprochent à la partie basse.

Tout morceau de plâtre saisi par les stries, dans le mouvement de rotation de la noix, s'écrase de plus en plus et finit par passer à l'état de poussière entre les deux pièces dans leur intervalle de plus en plus rapproché.

Quelques usines se contentent comme appareil de mouture complète de ce moulin dont la noix est alors très rapprochée de la boîte en fonte à la partie inférieure.

D'autres ne s'en servent que pour dégrossir le plâtre, en écartant suffisamment les deux pièces, et ils font ensuite passer le poussier obtenu entre deux meules horizontales. C'est cette disposition plus complète que représente la fig. 773.

Et la matière qui sort des meules tombe dans des silos inférieurs où on l'ensache.

Lorsque les moulins à noix ne sont pas suivis des meules, il est avantageux de les commander par le haut au moyen d'engrenages qui actionnent la partie supérieure de leur arbre vertical ; l'espace de dessous est plus utilement consacré à la réception de la marchandise moulue.

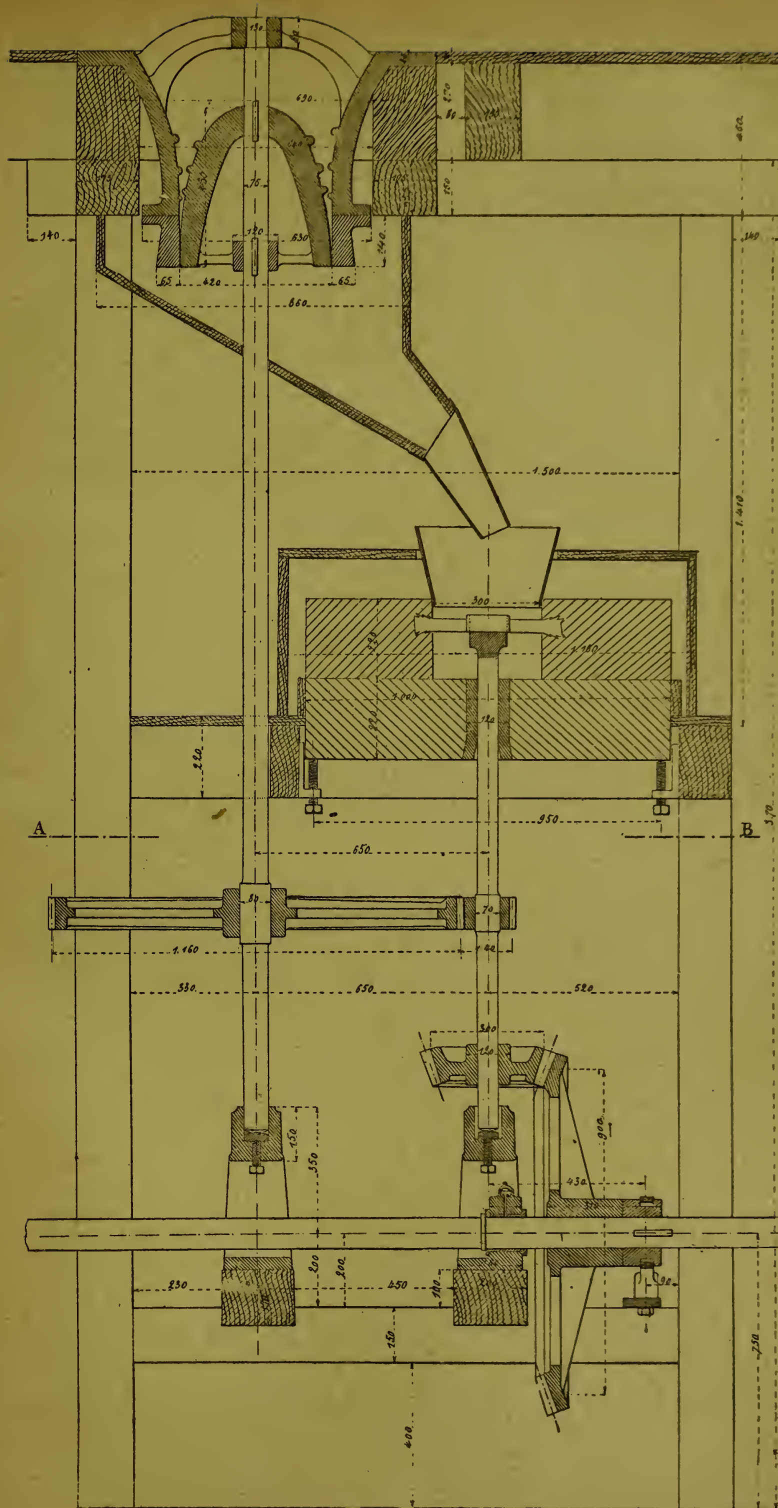


Fig. 773.

Lorsqu'à cet appareil on ajoute des meules, il est plus commode de faire la commande des outils par le bas comme l'indique la figure.

Autrefois les usines ne livraient qu'une seule espèce de plâtre, broyé grossièrement, et ce n'était qu'au chantier même de construction qu'on tamisait ce plâtre pour le séparer en plâtre fin et en *mouchettes*. Aujourd'hui que les transports se font facilement et rapidement à des distances considérables, on a avantage à n'expédier que la matière utile, le plâtre fin, et les usines ont dû s'organiser pour l'obtenir immédiatement ; aussi, presque partout, les meules sont-elles suivies d'un atelier de blutage qui donne le plâtre en poudre, avec le degré de finesse désirable.

Les bluteries sont analogues à celles qui ont été décrites pour les chaux et les ciments; le tamis est tantôt une toile métallique fine, tantôt un tissu de crin ou de soie. Le bâti qui le porte est un prisme hexagonal de 0 m. 60 à 0,80 de diagonale, et de 3 à 4 m. 00 de longueur. Il est porté sur des croisillons montés sur un arbre milieu en fer autour duquel tourne l'ensemble, et on donne à cet axe l'inclinaison calculée afin que la poudre à tamiser reste assez longtemps dans l'appareil pour laisser passer toute la partie fine.

492. Ensemble d'une usine à plâtre. — Si maintenant nous cherchons à nous rendre compte de l'ensemble d'une fabrique de plâtre, nous trouverons une installation très simple en raison du petit nombre d'opérations à faire subir à la marchandise.

Et, ici, l'installation de chaque usine dépend de la position des carrières d'extraction, du niveau d'arrivée de la pierre et du niveaau de départ du plâtre. D'ordinaire, on cherche à avoir la hauteur d'un étage entre les deux, de manière à faciliter les opérations sans avoir à remonter la matière, qui est une marchandise lourde.

L'usine se compose donc d'un grand bâtiment élevé d'un rez-de-chaussée et d'un vaste 1er étage, ce dernier comprenant le long des murs de face opposés les culées nécessaires à la cuisson. La charpente peut être en bois en raison de la faible

élévation de température des gaz qui s'échappent, mais pour les évacuer il est bon de poser les tuiles de la couverture à claire voie. Un système complet de voies ferrées et de bifurcations permet d'amener les vagonnets chargés depuis la carrière jusque dans chacune des culées, et de les ramener vides. Il doit permettre aussi de mener la matière cuite dans un atelier contigu, disposé de même comme bâtiment et où se fera le cassage et le broyage. La matière broyée, affleurée au besoin à la meule, en partie blutée, doit tomber au rez-de-chaussée, dans des magasins de dépôt, où on le prendra pour l'ensacher et l'expédier. Suivant le débit et les localités, le plâtre pourra s'accumuler un peu d'avance ou partir sitôt fabriqué ; l'usine doit tenir compte de cette circontance et aussi des débouchés que peut présenter l'agriculture de la région qui peut employer le plâtre comme amendement, et à laquelle on réservera les déchets et les parties mal cuites que l'on pulvérisera à part.

L'usine se complète par la salle de la machine, celle des chaudières à vapeur avec leur cheminée et par le quai de chargement des voitures pour l'expédition. Si l'usine se charge du transport, on y trouve les écuries importantes nécessaires, ainsi que le local de remisage des voitures et enfin les bureaux de direction et d'expédition, placés convenablement pour la surveillance facile de toutes les parties de l'établissement.

493. Du plâtre pour le moulage. — Pour fabriquer le plâtre pour le moulage, on prend les gypses les plus purs, les gypses filamenteux, feuilletés, les fers de lance ; on les cuit de manière à éviter leur mélange avec des corps étrangers. Tantôt on les introduit dans des fours à cornues, tantôt dans des fours analogues aux fours de boulangers, tantôt sur des wagonnets qui circulent dans un carneau de fumée en sens contraire des gaz d'un foyer.

Pour tous ces systèmes il est bon de casser préalablement les morceaux afin de rendre l'ensemble perméable et d'obtenir une cuisson régulière.

494. Qualité du plâtre. — On juge de la qualité du plâtre en en gâchant une petite quantité. Le bon plâtre s'attache aux doigts et est doux au toucher et onctueux.

S'il est insuffisamment cuit, il est graveleux et ne durcit pas. S'il est trop cuit, il refuse l'eau et s'égrène. D'ordinaire les mauvais plâtres sont de couleur jaunâtre et les enduits que l'on fait avec se gercent facilement. Les bons plâtres résonnent à la truelle bretelée quand on les recoupe.

On apprécie encore la qualité du plâtre en laissant durcir quelques parties gâchées, auxquelles on donne la forme de fuseaux allongés, et jugeant de la résistance qu'ils opposent à la rupture par flexion à la main.

Conservation du plâtre. — Le plâtre *s'évente* facilement à l'air en lui reprenant son eau d'hydratation, et il perd ses propriétés ; aussi on l'emploie presque toujours au sortir de la fabrication. Si on a besoin de le conserver, on le fait dans des chambres sèches où on le met en grandes masses et que l'on ferme hermétiquement ou bien dans des tonneaux bien fermés que l'on soustrait à l'action de l'humidité.

Autrefois on le faisait voyager en pierres cuites et on ne le pulvérisait qu'au moment de l'emploi.

495. Différents plâtres du commerce. — On vend le plâtre à Paris pulvérisé incomplètement sous le nom de *plâtre ordinaire* ou *plâtre au panier.* Il sert pour la limousinerie et les crépis.

Quand on le veut en poudre fine, on le fait passer dans un tamis de crin, qui retient les gros grains. C'est ce que l'on nomme le plâtre *au sas*; il sert aux enduits et moulures ordinaires.

Ce qui n'a pas passé dans le tamis porte le nom de *mouchette.* Cette mouchette n'est pas perdue. Mélangée au plâtre au panier elle sert à certains gros ouvrages, *hourdis de planchers*, *scellements de lambourdes*, etc.

Pour les moulures à arêtes fines, on prend des plâtres qui ont passé a travers un tamis de soie très fine. C'est le *plâtre au tamis de soie.*

Enfin on a le *plâtre à la pelle* ou *fleur de plâtre* que l'on obtient en faisant sauter du plâtre dans une pelle et recueillant la fine poussière qui s'est attachée au métal. Il sert à reboucher les trous légers de moulures fines.

496. Mortier de plâtre — Le mortier de plâtre s'obtient en mélangeant le plâtre pulvérisé avec une certaine quantité d'eau.

Il est utile que ce gâchage ait lieu en une seule fois sans tâtonnements. On obtient une pâte liquide de plâtre et d'eau; bientôt la combinaison a lieu, et il se forme une cristallisation ; la masse s'épaissit et devient dure.

Ordinairement on met autant de plâtre que d'eau. On verse l'eau dans une auge, puis on verse le plâtre en l'écartant à la main pour qu'il soit bien pénétré par l'eau, et on s'arrête quand il arrase le niveau du liquide. On le broie bien avec la truelle et la main jusqu'à ce que le mélange soit bien homogène.

Un sac de plâtre ou 25 litres (40 au mètre cube) demande 30 litres d'eau pour le gâchage lorsqu'il est au sas pour enduits, tandis que 25 litres de plâtre au panier, pour hourdis et crépis, ne demandent que 18 litres d'eau.

Un sac de chaux correspond à 50 litres, 20 au mètre cube.

Un sac de ciment est réglé d'ordinaire à 50 kgr.

Chaleur dégagée. — Au moment où le plâtre prend, il y a dégagement de chaleur, mais modérée, qui échauffe la masse de quelques degrés.

Le plâtre en prenant se gonfle, et l'accroissement de volume, qui est de 0,50 pour 100 au bout d'une heure de prise, atteint la valeur totale de 1 0/0 au bout de 24 heures.

Cette propriété est avantageuse dans le moulage, elle permet au plâtre de bien remplir les creux et d'accuser les moindres détails.

Dans la construction ses effets sont nuisibles et il y a lieu de les prévoir. Dans les hourdis des planchers, on laisse autour des pièces des intervalles de 0,05 de manière que le gonflement ne puisse pousser les murs ni déranger leur verticalité.

Dans les murs, on laisse le même intervalle le long des chaînes et des anciennes maçonneries et on ne les remplit que plus tard.

Retrait. — Après s'être gonflé, le plâtre subit en séchant un retrait qui peut aller à 0,01 p. m. de maçonnerie.

Il en résulte qu'un mur monté vivement à 20 m. de hauteur peut tasser de 0,10 à 0,15 à 0,20 en séchant, et déniveler les

planchers que l'on aurait soutenus dans la construction sans aucune prévision.

Il en résulte encore que 2 murs montés ensemble et en jonction, l'un en pierre de taille ou en pan de bois, ou en petits matériaux et mortiers de chaux et sable, l'autre en plâtre, se fissureront et se sépareront au point de jonction, par suite du retrait du plâtre, et cet effet pourra désorganiser la construction et la compromettre.

Expressions parisiennes. — Les garçons maçons se tiennent au gâchoir et attendent les ordres des compagnons.

Gâcher un *voyage*, c'est mettre dans l'auge 2 sceaux d'eau plus du plâtre.

2 truellées.	1 1/2 d'eau	+	plâtre.
1 truellée.	1	—	—
1/2 truellée.	1/2	—	—
Une poignée.	1/4	—	—
Gros comme un œuf.	1/8	—	

Gâcher serré c'est mettre le minimum d'eau, le plâtre gâché serré doit être employé vivement, il prend vite et devient très dur.

Mettre un peu plus d'eau c'est *gâcher clair*. Cela ralentit la prise et diminue la solidité.

Mettre encore plus d'eau *c'est gâcher très clair*. Cela s'emploie pour les enduits de plafonds et en général pour les grandes surfaces et les faibles épaisseurs, mais on risque d'avoir du plâtre poreux que l'on nomme du plâtre *creux*. On emploie aussi le plâtre gâché très clair sous le nom de coulis, pour faire couler au loin le plâtre dans les endroits que l'on ne peut atteindre, dans les joints de pierres par exemple.

Le plâtre gâché très clair est sans solidité et il se fissure facilement. On le nomme du plâtre *noyé*.

Au moment où il commence à prendre, le plâtre *coude* comme l'on dit. Lorsque le plâtre est gâché trop clair, le maçon attend qu'il coude pour l'employer, mais alors il se hâte, la prise se faisant rapidement.

Les truelles dont on se sert pour employer les plâtres sont en cuivre et les maçons les tiennent toujours propres.

Les truelles en fer s'oxyderaient de suite et ne donneraient

pas un bon emploi. Pour les chaux et ciments au contraire on emploie des truelles en acier, préférablement au cuivre.

497. Résistance du mortier de plâtre.— Sa résistance à la traction est de 12 à 16 kilogrammes par centimètre carré.

Mélangé de sable gros elle se réduit à 5 kgr.

Mélangé de sable fin elle se réduit à 3 kgr. 750.

A la compression sa résistance est d'environ 50 kgr. par centimètre carré.

L'humidité diminue beaucoup ces chiffres qui reparaissent après dessiccation.

En vieillissant, la résistance du plâtre faiblit et ces chiffres diminuent un peu.

L'adhérence aux pierres et aux briques est de 3 kilogr. par arrachement et de 1 kilogr. 4 à 1 kilogr. 78 par cisaillement.

L'adhérence au fer, de 10 kilogr. après 9 jours, peut atteindre 17 kilogr. ultérieurement.

498. Action de l'humidité. — Le plâtre en raison de sa solubilité dans l'eau s'altère et disparaît par l'effet de la pluie lorsqu'il est employé à l'air sans couverture.

L'hiver, l'altération est encore plus vive, parce que les ouvrages imbibés d'eau sont atteints par la gelée, se délitent et s'exfolient.

On ne doit donc jamais employer les plâtres à l'extérieur sans les garantir par une couverture efficace.

Les enduits des murs exposés à la pluie se détériorent facilement, on ne les garantit que par des peintures souvent renouvelées.

499. Salpêtrage. — Enfin quand, au lieu d'être l'humidité de la pluie qui attaque le plâtre, c'est l'humidité du sol, il se produit une nouvelle réaction.

Avec les matières organiques qui l'accompagnent, cette humidité aide à la formation d'azotates déliquescents qui imbibent la construction d'une façon définitive et y entretiennent une humidité constante qui peut gagner à la longue les parties plus hautes des murs et rendre la pièce inhabitable.

Un autre effet de ce salpétrage, c'est de rendre les enduits attaquables à la gelée, et aussi aux cristallisations salines qui se produisent dans les temps secs. Sous ces deux influences, les enduits se gonflent, éclatent, tombent et donnent aux constructions un aspect délabré.

En résumé,

Le plâtre est excellent à l'intérieur et au sec.

Déplorable à l'extérieur et surtout près du sol.

Il faut l'exclure des hourdis de murs et des enduits extérieurs pour lesquels il faut lui préférer la chaux ou le ciment.

Il y a lieu de prendre comme principe absolu que tout plâtre exposé à l'air extérieur doit être protégé par des couvertures au-dessus, et par des peintures latéralement.

500. Matériaux factices à base de plâtre. — Depuis longtemps on fabrique avec du plâtre gâché et des plâtras, des galettes minces que l'on nomme des *carreaux de plâtre*. Leurs dimensions leur permettent de faire des ouvrages légers de 0,08, 0,10, 0,14, 0,17, ravalement compris.

Ainsi on trouve dans le commerce,

0,30	sur	0,47	et sur	0,14
0,32	—	0,53	—	0,11
0,34	—	0,60	—	0,08
0,41	—	0,71	—	0,06

Ils ont au pourtour une rainure pour former joint et retenir le plâtre. On les pose de champ et ils forment des cloisons ; au dessous de 0,14 d'épaisseur on les renforce par les poteaux de remplissage et les huisseries des baies.

On fait aussi usage de carreaux creux plus légers, mais dans lesquels on ne peut enfoncer de clous ; on s'en sert pour assourdir les cloisons de séparation des appartements.

On fabrique en plâtre des carreaux spéciaux pour hourdis de planchers, généralement creux, donnant de bons résultats soit pour charpente en bois, soit pour charpente en fer.

Enfin on en fait des wagons et tuyaux de fumée ; mais, en raison du peu de résistance du plâtre à la chaleur, ils ne sauraient résister à un feu vif, non plus qu'à un feu de cheminée.

Tout au plus peut-on les adopter pour les constructions provisoires ou économiques de tuyaux de fumée correspondant à des cheminées.

On ajoute quelquefois au plâtre qui sert à fabriquer les poteries de l'alun, de la limaille, des battitures de fer, du machefer, et on a donné à ces produits le nom de tuyaux ferrugineux. Ces additions, faites dans un but commercial, ne parent que faiblement aux inconvénients que présente le plâtre pour cet usage, auquel il n'est nullement propre.

On peut encore ranger dans les matériaux factices à base de plâtre les *plâtras* irréguliers, provenant des démolitions d'anciennes constructions et qui servent, mélangés à des mortiers de plâtre, à faire des hourdis et des massifs.

Il y a à faire une attention extrême dans leur emploi, pour éviter aussi bien les plâtras bistrés que les plâtras salpêtrés.

501. Plâtre aluné. — Pour fabriquer du plâtre aluné, on cuit le plâtre et on le jette dans un bain d'alun à 8 ou 10 0/0 ; on le retire, on le séche et on le cuit à nouveau.

Sa prise lorsqu'on le gâche est moins prompte, il ne s'évente pas aussi vite et il prend une dureté assez considérable pour qu'on en ait fait des carreaux pour dallages imitant le marbre, et qui sont en usage courant dans certains pays.

502. Stucs. — Le stuc est souvent une composition de chaux ou de marbre durci avec lequel on fait des revêtements très solides imitant le marbre ou la faïence. Plus souvent encore on le compose de plâtres de choix parfaitement blancs, que l'on gâche avec de la colle et auquel on ajoute ou de l'alun ou du plâtre aluné. On les colore, et les ouvriers stucateurs sont très habiles pour produire des surfaces parfaitement établies et une imitation parfaite soit de la pierre de taille soit des marbres de toutes couleurs. Quand on veut obtenir le grain de la pierre, on les passe au grès et à la pierre ponce, en les mouillant pendant le travail, et on fait un tracé de joints d'appareil. Lorsqu'on veut avoir l'aspect des marbres ou granits, on fait des incrustations de pâtes colorées que l'on travaille au grès et à la pierre ponce et qui prennent bientôt le

plus beau poli. Ces stucs sont économiques comparativement à l'emploi des matériaux réels ; ils se conservent très bien dans les endroits secs, mais ne résistent pas à l'humidité.

503. Staff. — Le staff sert à la décoration des plafonds. Il est composé de plâtre fin gâché avec de la colle forte. On trempe des mèches de coton ou de toile de peintre dans le mastic ainsi obtenu et on les applique sur un moule savonné ou huilé, puis on y ajoute les ornementations voulues, moulées et préparées d'avance ; on démoule avant siccité complète, et on met des armatures à la place du moule pour éviter les déformations. L'épaisseur de la paroi ainsi obtenue est faible, elle n'est que de 3 à 7 millimètres. Les pièces de staff se scellent en place pour faire toutes sortes de décorations économiques : écussons, sculptures diverses, ornements d'architecture, jusqu'à des ordres complets et à des imitations de charpentes apparentes. C'est un produit très dur, très résistant. Il faut la scie pour s'en débarrasser lorsqu'on veut en faire la démolition.

CHAPITRE XIII

PRODUITS CÉRAMIQUES

SOMMAIRE :

504. Gisements d'argiles.— 505. Propriétés de l'argile. Action de la chaleur. — 506. Emploi de l'argile pour la fabrication des produits céramiques. — 507. Fabrication des briques, extraction de la terre. — 508. Préparation, mélanges et corroyage des terres. – 509. Moulage des briques. — 510. Travail en pâte molle et en pâte dure. — 511. Machines à briques. — 512. Rebattage des briques. — 513. Poteries, wagons. — 514. Fabrication des tuiles, avantages du procédé en pâte molle. – 515. Transport et séchage des produits céramiques. — 516. Cuisson des produits céramiques. — 517. Fours à briques. — 518. Fours continus. Fours d'Ivry. Fours divers. — 519. Four Hoffmann. — 520. Fours à gaz. — 521. Dimensions et qualités des briques. — 522. Briques creuses.

CHAPITRE XIII

PRODUITS CÉRAMIQUES

---

504. Gisements d'argiles. — Parmi les roches de sédiment les plus répandues dans la nature, il faut ranger les argiles, qui constituent de vastes dépôts ; elles sont formées de silice et d'alumine combinées. Les proportions des deux éléments ne sont pas constantes ; mais d'ordinaire la composition est la suivante :

Alumine . . .	42
Silice	58

Les roches argileuses se sont formées aux dépens des roches ignées alumineuses que le temps a décomposées. Rarement elles se présentent à l'état pur, composées seulement de silicate d'alumine hydraté et dont le type est le kaolin. Presque toujours elles sont rendues impures par la présence de corps divers : silice, carbonates calcaires et magnésiens, oxydes de fer, et encore par des détritus végétaux. Elles forment alors des masses d'aspect terreux, qui jouissent presque constamment de la propriété de se délayer dans l'eau, de former ainsi des pâtes liantes caractéristiques ; d'autres fois elles ont perdu cette qualité et ont pris de la consistance.

L'argile porte souvent les noms de *glaise*, de *marne*, de *terre à potier*, d'*argile figuline*.

Sous le nom de *glaise*, de *terre glaise*, on désigne plus spécialement des argiles impures de couleur verte ou bleue, possédant au plus haut degré les propriétés générales des argiles ; elles sont douces au toucher, ont une odeur particulière lorsqu'on les frotte ou qu'on les mouille, happent à la langue

quand elles sont sèches, et sont plastiques par excellence. Elles durcissent fortement par simple dessiccation, et ne perdent toute leur eau que par une température supérieure à 100°.

On appelle *marne* des mélanges intimes d'argile et de calcaire dans les proportions les plus variables. Les marnes argileuses, ne contenant pas plus de 10 °/₀ de calcaire, sont plastiques, prennent de la dureté en cuisant et sont propres à la fabrication des briques et poteries. Si la proportion de calcaire augmente, la plasticité disparaît bientôt et les usages de la matière se restreignent.

L'*argile figuline* et la *terre à potier* sont des argiles relativement assez pures et dont on peut faire des faïences communes.

505. Propriétés de l'argile. Action de la chaleur. — L'argile pure est *réfractaire*, le silicate d'alumine étant infusible. Mais si d'autres bases sont amenées par les impuretés, il se forme à température élevée des silicates multiples qui sont d'autant plus fusibles qu'il y a un plus grand nombre de bases.

L'argile n'est plastique que tant que la silice et l'alumine sont en combinaison avec l'eau. Si l'on chauffe au-dessus de 100°, l'eau s'échappe de la combinaison et la plasticité disparaît, sans que l'addition d'une nouvelle quantité d'eau puisse la faire revenir.

Chauffée davantage, l'argile acquiert plus de cohésion, et certaines terres argileuses prennent une assez grande dureté pour être souvent plus dures que l'acier et faire feu au briquet. La cohésion ainsi obtenue est acquise indéfiniment; elle permet à l'argile de résister aux effets de l'eau, vis-à-vis de laquelle elle se comporte comme une pierre inerte.

Les argiles ont des gisements nombreux en France. Les principaux existent à Arcueil et Vaugirard, à Montereau, Creil, etc.; à Forges, Gisors, Gournay, Dreux; dans la Charente; dans tout le Nord; dans l'Aisne, dans l'Allier, etc.

Les briques réfractaires y sont au contraire très rares. On en rencontre dans l'Aisne, dans l'Allier, l'Ardèche, l'Eure-et-Loir, la Moselle, les départements de la Seine-Inférieure, de Seine-et-Marne, de l'Yonne et de la Haute-Vienne.

L'argile quand elle n'est pas calcaire ne fait pas effervescence avec les acides.

Quand l'argile se dessèche naturellement, elle se fendille et se retraite, et le retrait s'accentue encore par la cuisson et augmente avec la température subie. La couleur varie aussi avec la cuisson : telles matières qui étaient naturellement bleues, vertes ou brunes deviennent en sortant du feu jaunes, roses ou rouges. Les argiles blanches réfractaires changent peu de couleur par la cuisson.

506. Emploi de l'argile pour la fabrication des produits céramiques. — Les propriétés nouvelles que l'argile acquiert par la cuisson ont été de tous temps utilisées pour la fabrication d'une foule d'objets que l'on désigne d'une façon générale sous le nom de *produits céramiques* : ils comprennent notamment les vases de toutes formes, les tuiles, les briques, les carrelages et les poteries du bâtiment.

Pour fabriquer tous ces produits, la première et la plus importante des opérations consiste dans le choix des matières premières ; c'est de ce choix, autant que du travail, que dépend la perfection des produits, et l'expérience est le meilleur guide pour le bien faire.

A première vue un connaisseur juge le parti que l'on pourra tirer d'une terre, et des additions qu'il y aura lieu de lui faire pour lui donner telle ou telle propriété. Lorsqu'une terre argileuse présente une cassure légèrement conchoïde à arêtes fines, à grains serrés, à couleur pâle, et si elle est dense, on peut prévoir qu'elle sera convenable pour la fabrication des objets résistant aux chocs et aux agents extérieurs, comme les tuiles, les carrelages, les tuyaux, etc. Si, au contraire, la texture est plus terreuse, le grain moins serré, la couleur plus vive, si avec cela l'argile est légère, on ne pourra la faire servir que pour les poteries grossières, briques, tuyaux de fumée et de drainage, etc.

507. Fabrication des briques. Extraction de la terre. — Les briques sont, parmi les produits céramiques divers, les plus simples à fabriquer, ceux qui demandent le moins de pré-

cautions. Partout où on trouve de l'argile on peut faire de la brique, et, dans bien des pays, elle supplée à la rareté ou au manque d'autres matériaux.

La brique s'emploie même dans les pays où les autres matériaux sont abondants, pour exécuter des maçonneries minces, auxquelles, en raison de sa forme régulière, elle donne une grande résistance, et aussi pour faire les constructions qui doivent subir l'action du feu, action à laquelle elle résiste à cause de son origine même. Aussi les usines à briques, les briqueteries, existaient-elles dès la plus haute antiquité. Elles sont aujourd'hui répandues partout où se trouve de l'argile plastique.

La brique, dans bien des pays, est faite avec la terre même de la surface, la terre végétale, lorsqu'elle n'est ni trop argileuse ni trop sableuse, et qu'on ne doit pas être trop difficile sur la qualité du produit. Souvent cette brique doit être employée *crue*, c'est-à-dire simplement séchée au soleil. On la fabrique alors très simplement en la corroyant par la pression du pied, soit de l'homme, soit des animaux, en la *marchant* comme l'on dit avec la quantité d'eau nécessaire, et y incorporant des corps filamenteux de valeur nulle, déchets de paille, de foin, de bourre, et enfin en la moulant.

La dessiccation doit être lente, naturelle, et se faire à l'abri de la gelée.

On ne l'active au soleil que lorsque la chaleur qu'il donne aux briques ne risque plus de les fendiller.

Les anciens, surtout dans les pays chauds comme en Egypte, ont beaucoup fait usage de briques crues, et de nos jours on s'en sert encore dans bien des pays. Leur résistance permet de monter facilement des murs de 3 étages en toute sécurité, avec la seule condition de garantir leurs parements de l'action de l'eau à laquelle la matière ne saurait résister.

Lorsque la brique doit être cuite, la fabrication est plus compliquée ; elle comprend les cinq opérations suivantes :

Extraction de la terre et son transport à l'usine ;

Préparation par le corroyage et le mélange des matières ;

Moulage ;

Séchage ;

Cuisson.

L'extraction de la terre peut se faire en toutes saisons, mais principalement en automne, et il est bon de la laisser exposée aux agents extérieurs pendant tout l'hiver pour ne l'employer qu'au printemps suivant. On profite alors des froids et des gelées successives pour diviser la matière, si elle est très plastique, et l'humidifier d'une manière uniforme. Il n'y a d'autre soin à lui donner que de la remuer de temps en temps, pour aider les agents extérieurs à la déliter et à la mêler, a en faire en un mot une masse homogène.

Dans les usines où une fabrication suivie absorbe de grandes quantités de terre, on ne peut que partiellement suivre ce procédé ; on extrait toute l'année, et on demande à la force mécanique de l'usine cette division de la matière qu'on ne peut obtenir de l'hiver.

508. Préparation, mélange et corroyage des terres. — Dans les installations primitives, on marchait la terre sur une aire convenablement préparée, en l'arrosant et la retournant de temps en temps. Pendant cette opération, on l'épurait, on la débarrassait de toutes les pierres et matières étrangères diverses qu'elle pouvait contenir.

En même temps qu'on exécute ce corroyage, on fait le mélange des divers genres de terres qui permettent d'avoir un produit régulier, de qualité convenable pour le genre de produits qu'on se propose d'obtenir.

L'argile pure ne convient pas pour la fabrication des briques ; elle sèche trop difficilement, et en séchant se fendille, se retraite et se gauchit. Les terres sableuses n'ont pas assez de liant et ne s'agglomèrent pas ; la terre convenable est intermédiaire entre ces deux extrêmes. Elle doit n'être ni trop *grasse* ou trop argileuse, ni trop *maigre* ou trop sableuse.

Si donc l'argile dont on dispose est trop *grasse* il faudra y ajouter soit du sablon soit des terres maigres ; c'est ce qu'on appelle des matières *dégraissantes*. Avec des matières *maigres* on ajoutera des argiles plastiques, pour *engraisser* la pâte.

Parmi les matières dégraissantes, on emploie souvent les déchets de terres cuites pulvérisés, les escarbilles de foyers, les mâchefers, les poussiers de coke ; comme sable, on ne peut prendre que celui qui est en poudre très fine, le sablon.

On ajoute en même temps la quantité d'eau nécessaire pour faire une pâte ductile ; elle ne doit pas dépasser la moitié du volume de la terre.

Le corroyage primitif par le marchage est cher et produit peu ; aussi le remplace-t-on depuis longtemps par l'action de machines que l'on nomme malaxeurs, tonneaux corroyeurs, cylindres broyeurs, etc.

Parmi les appareils très nombreux qui ont été proposés pour corroyer les terres, beaucoup sont établis sur le principe des malaxeurs à mortier, employés sur les chantiers de maçonnerie (fig. 153). Comme ces derniers, ils se composent d'un cylindre en tôle monté sur socle, dans lequel se meut un arbre vertical muni d'ailettes inclinées ; celles-ci tournent horizontalement, brassant la matière et produisant un corroyage énergique. Les dernières ailettes du bas sont plus larges, et leur inclinaison permet de pousser la matière vers une porte inférieure ouverte à volonté, que l'on maintient au degré voulu pour que la terre corroyée sorte d'une façon continue pendant que l'on charge la partie supérieure d'une manière également régulière.

Tantôt l'arbre vertical est commandé directement par la flèche d'un manège, c'est le procédé employé dans les petites usines pour délayer la terre en *pâte molle* ; tantôt l'arbre porte une grande roue dentée actionnée par un pignon qui reçoit le mouvement de la transmission de l'usine, c'est le cas presque général lorsque le fabricant dispose d'une machine à vapeur. L'eau peut alors être mise dans la pâte en proportion moindres, et on travaille en pâte *demi-dure* ou en *pâte dure*. L'appareil demande alors plus de force et exige un travail de 2 à 4 chevaux. Il faut qu'il soit construit d'une façon robuste en raison de l'énorme variation de travail qui résulte de la variation dans la quantité d'eau employée.

Pour avoir un meilleur corroyage, on superpose souvent deux malaxeurs et on les dispose pour que la terre qui sort de l'appareil le plus élevé puisse facilement couler dans le second. Ces malaxeurs, en raison de leur formes, se nomment aussi *tonneaux corroyeurs*.

Un second genre d'appareils corroyeurs consiste en deux ou plusieurs gros cylindres en fonte entre lesquels on fait pas-

ser les terres, et qui les laminent sous mince épaisseur. On règle à volonté l'écartement des cylindres pour obtenir le meilleur résultat. Suivant la nature de la terre les cylindres sont unis ou cannelés. L'avantage de cet outil, représenté fig. 774 (1), est de réduire en poudre fine les morceaux de carbonate de chaux ou de silex mêlés à la terre et qui deviennent ainsi inoffensifs.

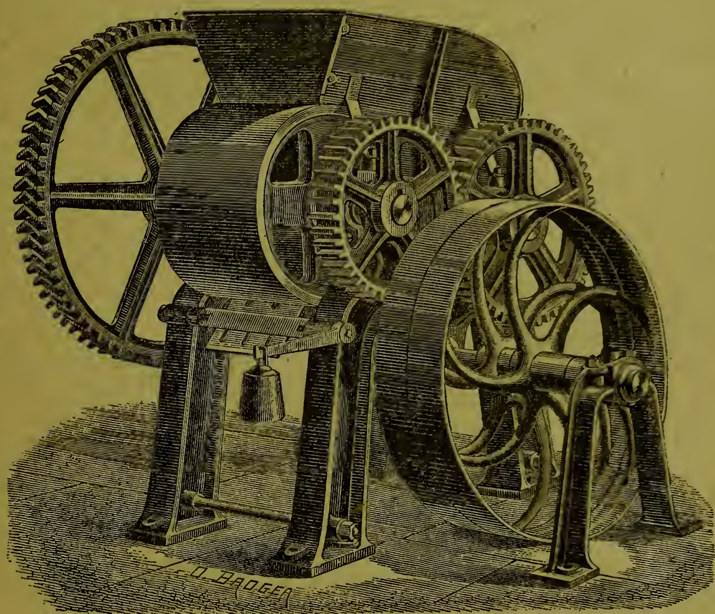


Fig. 774.

Les cylindres ont un diamètre de 0,60 à 0,80. Ils peuvent écraser 20 à 30 mètres cubes de terres en dix heures de travail et demandent une force motrice de 4 à 5 chevaux.

On peut installer un plancher au-dessus de la machine, et y mettre une grande trémie pour y verser facilement les terres à la brouette. La seule précaution à prendre est de garnir cette trémie, à sa partie haute, d'une grille à barreaux écartés de 0,12 à 0,14, pour éviter les accidents.

On peut aussi alimenter la machine de terres prises sur le sol même, et on monte les matières au moyen d'une toile

(1) Cette figure et quelques suivantes sont extraites de l'album de MM. Boulet, Lacroix et Cie, constructeurs à Paris.

sans fin inclinée, organisée sur rouleaux et mue par la transmission.

Au lieu de deux cylindres ou rouleaux, on a dans bien des briqueteries des outils comportant quatre cylindres disposés par paires superposées, portées sur un même bâti. D'ordinaire les deux rouleaux du haut sont cannelés et servent de dégrosisseurs ; on les écarte quelque peu l'un de l'autre, tandis que les deux du bas, plus rapprochés, sont complètement lisses à leur paroi extérieure, et sont chargés de parfaire le broyage et d'écraser les petites pierres.

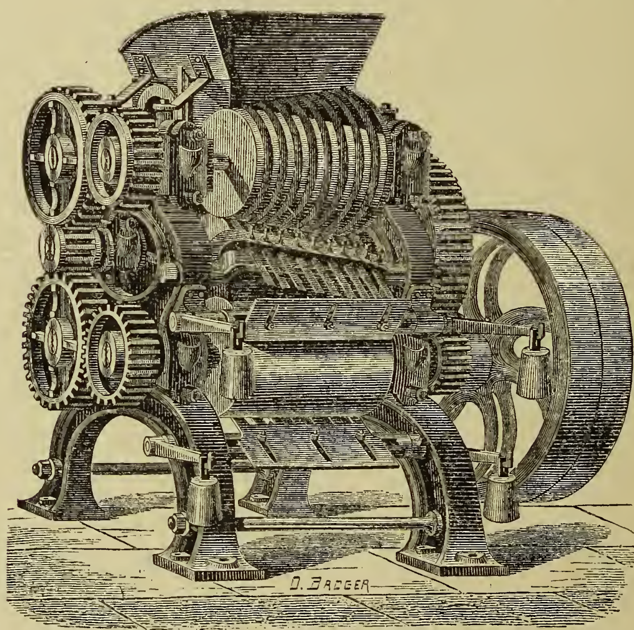


Fig. 775.

Cet appareil est représenté dans la figure 775 ; on l'installe de même que le précédent, soit sous un plancher portant trémie, soit sur le sol même de l'usine, en l'alimentant par un élévateur de terre.

Ces appareils ne fonctionnent pas aussi bien avec l'argile plastique seule qu'avec les terres mêlées. Aussi lorsque l'on a

à traiter des terres glaises, trouve-t-on avantage à les diviser préalablement.

Quand on ne peut obtenir cette division par les intempéries de l'hiver, on a recours à des machines spéciales que l'on appelle des *tailleuses*.

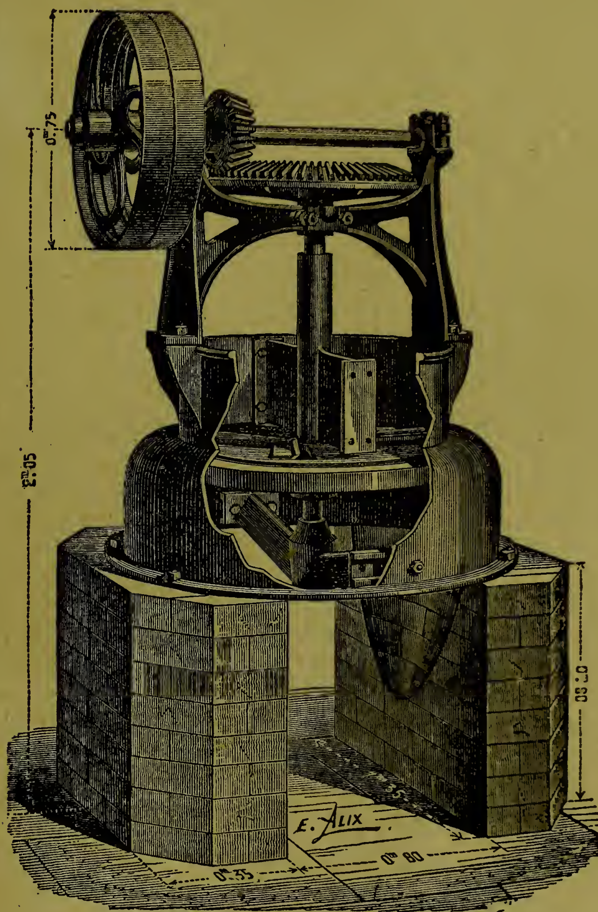


Fig. 776.

Ce sont des appareils composés d'un disque en fonte, calé sur un arbre commandé par la transmission de l'usine et monté sur un bâti convenable. Ce disque est percé de 3 ou 4 orifices allongés rectangulaires disposés suivant le rayon, et

chacun de ces orifices est muni d'une lame fixée avec deux boulons et qu'on peut régler à la demande. En dehors du disque, est un plan incliné ou une trémie fixe, où on dépose les blocs d'argile. L'outil tourne très vite et les lames à chaque passage découpent des copeaux dans la masse de terre. C'est une machine analogue, comme marche et comme travail, au coupes-racines ordinaire des fermes. On en trouve, chez les constructeurs, qui sont établies de deux façons : chez les unes le disque est vertical, et on les appelle pour cette raison des tailleuses verticales. Dans d'autres, au contraire le disque porte-lames est horizontal et les pains viennent porter sur une partie de la surface au moyen d'une trémie convenablement disposée. Ce sont les tailleuses horizontales. Une de ces tailleuses est représentée fig. 776.

L'argile ainsi divisée en copeaux ou lamelles est alors mélangée avec des terres dégraissantes appropriées, et le tout passe dans les cylindres précédents.

Un moyen de broyage des plus énergiques consisterait, pour une usine considérable qui voudrait obtenir en pâte molle des terres irréprochables, à se servir des appareils déjà décrits pour les ciments, sous le nom de délayeurs et de mélangeurs, n° 448, et réprésentés dans les figures 736 et 737. Les terres broyées par les herses avec beaucoup d'eau, mélangées ensemble dans les proportions convenables pour obtenir un produit toujours identique à lui-même, seraient envoyées dans des bassins de décantation. Elles s'y étendraient en couches horizontales et s'y égoutteraieut ; puis on les reprendrait par tranches verticales qui donneraient un produit bien homogène et propre aux fabrications les plus exigeantes.

On ne peut pas songer à traiter les terres avec ce luxe de soins dans la plupart des usines. Dans beaucoup d'entre elles, cependant, on améliore les terres en les faisant reposer un mois ou deux, à leur sortie des gros cylindres, dans des fosses à terre disposées convenablement. On les y dépose par couches horizontales et on les arrose copieusement ; lorsque les fosses sont pleines on les abandonne pendant le laps de temps qui vient d'être indiqué, et quand on les reprend pour la fabrication, on les tranche verticalement pour rendre le mélange plus homogène.

Ce repos dans des fosses a pour principal effet de disséminer l'eau bien régulièrement dans le masse et d'amener les matières à une composition assez régulière ; le mélange des parties plastiques et des terres dégraissantes se fait alors très facilement.

Dans d'autres usines, on remplace les fosses par des outils qui prennent les terres sortant des cylindres et les font passer par une filière qui les transforme en une série de petits morceaux cylindriques de $0^{m}01$ à 0,015 de diamètre, de quelques centimètres de long. Cette sorte de macaroni, mis en tas, se prête au mélange facile des divers morceaux, et il en résulte une composition moyenne de la pâte qui est aussi uniforme que possible.

Dans ce mélange des terres, il faut porter le plus grand soin à éliminer les sortes qui contiennent de nombreux petits cailloux disséminés dans la masse. Siliceux, ils détruisent l'homogénéité de la terre, nuisent à la façon ultérieure des parements des objets fabriqués, les rayent et déprécient les produits ; calcaires, ils sont encore bien plus nuisibles, car chacun d'eux, à la cuisson, se transforme en un fragment de chaux qui, à l'emploi, fuse après un temps plus ou moins long, et le gonflement irrésistible dû à l'hydratation fendille les objets fabriqués, en fait éclater des morceaux, et cela après plusieurs années dans certains cas. Si les terres ont servi à faire des briques, les murs dans lesquels elles sont engagés ont jusqu'à leurs enduits soulevés par ce gonflement. De là une diminution de valeur très considérable des produits ainsi infestés.

Le corroyage des terres donne de grandes qualités à la matière. Ainsi, de la brique préparée par les moyens ordinaires résistant à 35 kg., de la brique faite avec la même terre, mais très bien corroyée, séchée et cuite dans les mêmes conditions, arrive à résister à une charge de 65 kg. Cette opération a donc eu pour effet de doubler presque la résistance des produits.

509. Moulage des briques. — La troisième opération à faire subir à la terre est le *moulage*, terme général, qui bien souvent comprend toutes les opérations ayant pour but de

donner à la pâte argileuse la forme définitive qu'elle doit avoir.

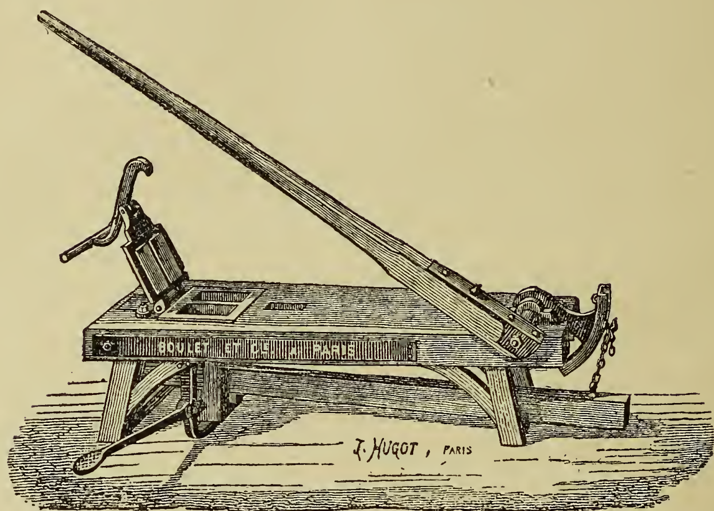


Fig. 777.

Les moules à briques les plus simples sont composés de cadres sans fond, soit en bois, soit en bois doublé de métal, soit en métal seul ; leurs dimensions sont celles des briques, augmentées du retrait que doit subir la terre. Les moules sont posés sur une table qui forme le fond des alvéoles ; on y applique avec force à la main une poignée suffisante de terre, on la foule pour s'assurer qu'elle remplit tout le vide, et on arase le moule en enlevant l'excédant avec une règle plate.

On ouvre ensuite le moule et on en fait sortir la brique.

Quelquefois le moule est double, il permet de fabriquer deux briques à la fois ; ce qui augmente beaucoup la production journalière du briquetier.

La figure 777 représente une machine simple, remplaçant les moules primitifs, et qui permet d'ajouter à la façon de la brique une pression qui améliore sa qualité.

Une table à hauteur convenable au-dessus du sol porte le moule à deux alvéoles que peut fermer sur le dessus un couvercle à charnières et crochet d'attache. Un double piston ferme

le moule par le bas et est actionné par un double levier à la disposition de la main de l'ouvrier. La marche de cet outil est très simple ; le piston étant baissé et le moule ouvert, on applique la terre, on arase, on ferme le couvercle qui s'accroche de lui-même, et on donne un coup de levier ; la terre se trouve fortement comprimée dans le moule et prend sa forme. On relève le couvercle et on donne un second coup de levier en l'abaissant davantage ; il n'y a plus de résistance, mais la course est plus longue ; le piston traversant les alvéoles en fait sortir les deux briques que l'on enlève ; le démoulage est donc très facile. On règle la position du piston et la dimension du vide des moules, suivant les terres, et aussi suivant la dimension en épaisseur des briques à obtenir.

510. Travail en pâte molle et en pâte dure. — Une telle machine peut produire par journée de travail de 3000 à 4000 briques.

Ce procédé prend le nom de moulage *en pâte molle* ; la terre, bien homogène, forme une pâte un peu liquide et donne un produit bien régulier dans toutes ses parties ; la brique ainsi fabriquée présente une cassure à grains uniformes et est très facile à tailler. Le moulage en pâte molle appliqué à de bonnes terres donne d'excellents résultats.

Dans les usines qui ont une installation mécanique, on tend à lui substituer le procédé en *pâte dure* ; il consiste à travailler la pâte avec le minimum d'eau au moyen d'appareils robustes mus mécaniquement, et à lui donner la forme voulue à la filière. La matière subit dans ces appareils un véritable laminage et ce laminage détermine une série de filets parallèles qui donnent aux objets fabriqués une texture feuilletée. Les divers feuillets juxtaposés ne sont pas toujours bien soudés ; ils tendent à se séparer. Les briques se taillent moins bien en raison de ces surfaces d'inégale résistance. La gelée jointe à l'humidité délite les produits et ces derniers sont beaucoup moins estimés que ceux qu'on fabrique en pâte molle avec les mêmes terres. Malgré cette infériorité reconnue, les briques à la filière sont les plus répandues à cause de la grande régularité de leur forme, de l'extrême facilité de fabrication et de l'économie qu'on y trouve.

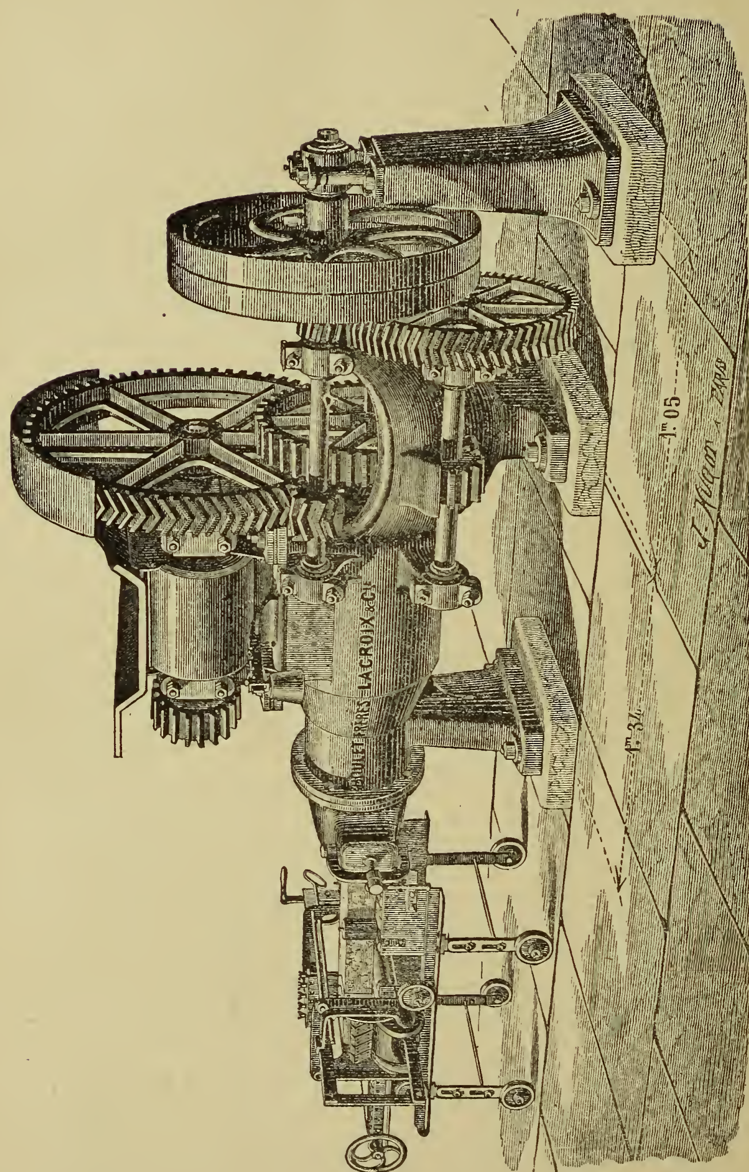


Fig. 778.

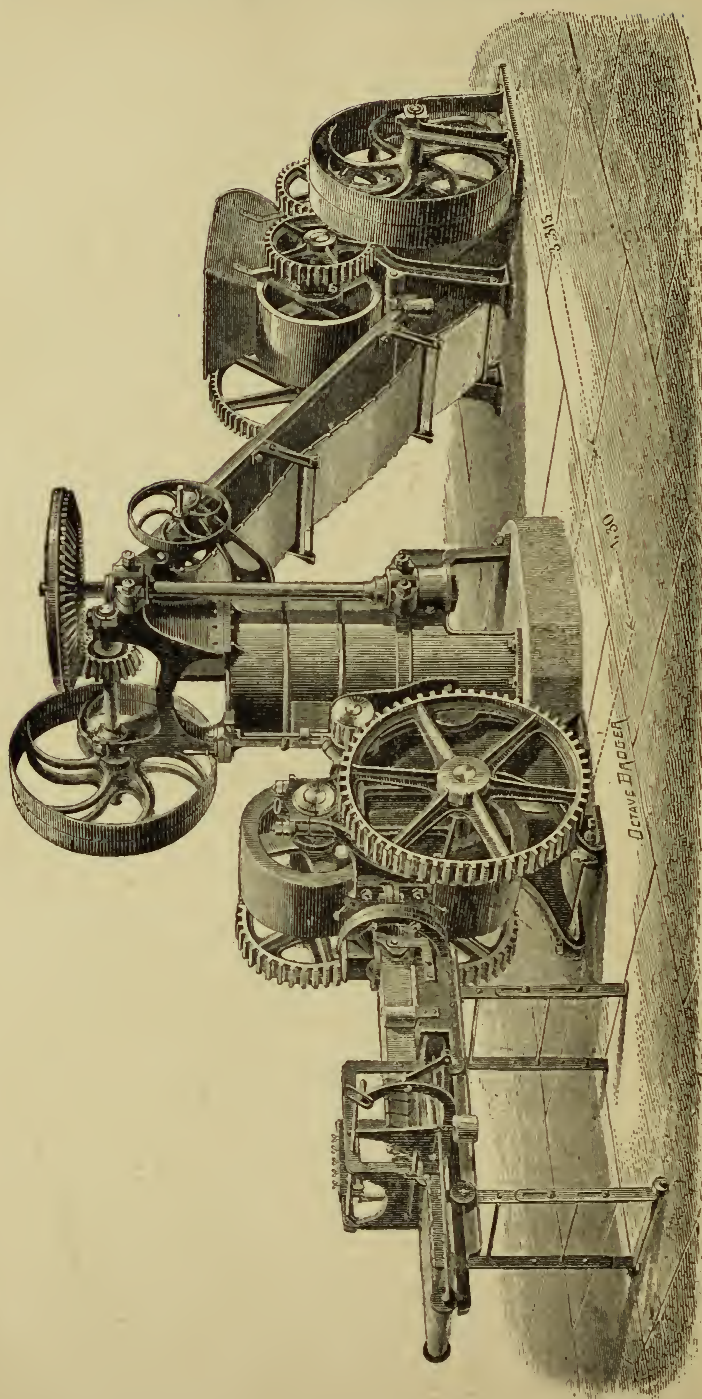
511. Machines à briques. — Le principe de cette fabrication consiste à avoir de la terre préparée avec la quantité d'eau convenable, à la verser au moyen d'une trémie sur deux cylindres chargés de la laminer, et qui la font passer au-dessous du point du laminage dans une boîte en métal bien ajustée sur les cylindres et qui s'emplit complètement. Cette boîte est terminée par un couvercle vertical percé d'un trou de 0,22 $\times$ 0,11. La rotation des cylindres continuant à pousser de la terre dans la boîte pleine y exerce une pression considérable, et force la matière à sortir par l'orifice sous forme d'un prisme compact et continu ayant cette même section de 0,22 sur 0,11.

On reçoit ce prisme sur une table à rouleaux garnie d'une toile sans fin ou même sans toile quand la pâte est suffisamment dure. Lorsqu'il est sorti sur une longueur d'environ 1 m. 00 on le découpe en briques de 0,06 d'épaisseur, par une série de fils de laiton tendus sur un cadre qu'on fait tourner rapidement autour d'un axe horizontal.

On n'a plus qu'à relever et mettre en brouettes les briques ainsi détaillées ; on rejette celles qui, mal coupées, n'ont pas les dimensions voulues ; elles retournent dans la trémie pour repasser à la machine.

Pour que les cylindres puissent ainsi déterminer dans la boîte une pression suffisante, il faut qu'ils soient de gros diamètre, au moins 0 m. 25 à 0 m. 30 et plus s'il est possible. Il faut aussi qu'ils soient continuellement nettoyés de la terre qui tend à s'accumuler à leur surface. On y arrive au moyen de couteaux à lames inclinées dont le tranchant coïncide avec une génératrice. C'est aussi au moyen de lames de couteaux placées à l'intérieur que l'on fait les joints entre la boîte et les cylindres.

La fig. 778 représente une machine à briques construite sur ce principe par MM. Boulet et Lacroix ; elle est composée d'une paire de cylindres unis de 0,40 de diamètre et d'une boîte, formée d'un cylindre horizontal, dans laquelle se meut un arbre muni d'une hélice. Cette hélice a pour but de malaxer encore la terre pour lui donner le plus d'homogénéité possible, en même temps que de la pousser en augmentant la pression vers la plaque de sortie que l'on appelle la *filière*. Une série d'en-


3,315
1,30
Octave Broger

grenages commande la rotation de toutes ces pièces et une double poulie (fixe et folle) reçoit le mouvement de la transmission de l'usine. A l'extrémité se trouve le chariot coupeur qui reçoit le prisme de terre et le débite en briques.

Une telle machine peut produire 1000 à 2000 briques à l'heure.

Si, avec cette machine, on veut faire de la brique creuse, on change la plaque de filière et on en met une qui se trouve cloisonnée d'une façon appropriée. La brique se présente en bout à la section de 0,22 sur 0,06 ou 0,22 sur 0,11 suivant que l'on veut obtenir le moule 0,22 — 0,11 — 0,06 ou celui 0,22 — 0,11 — 0,11, et les fils de laiton du chariot coupeur se trouvent espacés de 22 pour débiter la brique à la sortie de la filière.

Dans certaines machines, la boîte est double et contient deux hélices ; d'autres machines sont doubles, c'est-à-dire qu'elles comprennent double boîte et donnent de la brique par une filière à chaque extrémité.

L'installation complète des machines qui précèdent sur le sol d'une usine est représentée fig. 779. Elle se compose d'une paire de cylindres, d'une toile sans fin, d'un malaxeur et enfin d'une machine à briques ; la terre passe successivement par ces divers appareils qui doivent être proportionnés comme débit, et finalement sort à l'état de briques à la partie postérieure. Quelquefois on met une double paire de cylindres en tête avec une seconde toile sans fin interposée.

Cette disposition s'améliore encore pour les usines à étages qui reçoivent la terre à la partie haute, lorsque l'on peut étager les appareils successivement et recevoir le produit au rez-de-chaussée.

512. Rebattage des briques. — A mesure de la fabrication, les briques sont enlevées.

Si le procédé de fabrication est en terre molle, on les dépose sur une aire sablée pour les laisser se ressuyer. Lorsqu'elles commencent à se raffermir on les dresse de champ. Lorsqu'elles sont tout à fait consistantes, on les pare en les rebattant. On enlève avec un couteau de bois les bavures du moule,

puis on les dresse en les mettant sur une table et les frappant à la batte sur toutes les faces.

Il en résulte une compression favorable et une plus grande netteté et régularité de formes.

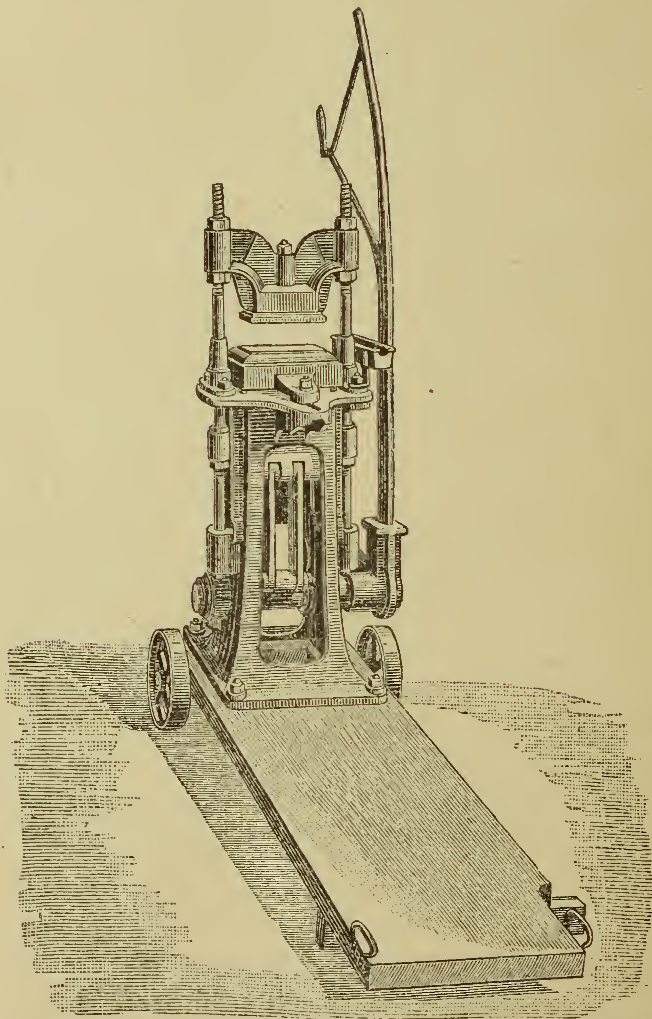


Fig. 780.

La fig. 780 montre une machine à levier dans laquelle se trouve un moule recevant la brique, machine avec laquelle on

peut donner à celle-ci une pression énergique sur toutes ses faces.

Dans le moule on dispose la marque de l'usine, qui se trouve imprimée du même coup.

On peut encore rebattre la brique avec des presses à balanciers analogues aux appareils à battre les monnaies. Il en existe des types nombreux et très variés. D'ordinaire, l'arbre vertical du balancier est terminé d'un côté par un piston se mouvant au-dessus d'un moule, et, de l'autre côté, en haut, par une grande roue horizontale sans dents commandée par friction au moyen de deux autres roues verticales mues par la transmission de l'usine.

La grande roue est comprise entre les deux autres ; mais, leur écartement dépassant un peu son diamètre, elle n'en touche qu'une et un léger déplacement qu'on imprime à la transmission, au moyen d'un levier, fait commander le balancier, soit par l'une, soit par l'autre.

Le mouvement reçu variant de sens, le balancier monte ou descend à volonté ; on en voit un exemple plus loin dans une machine à fabriquer les tuiles représentée fig. 783.

L'avantage de cette commande par friction est qu'il se produit un glissement entre les surfaces en contact dès que la brique suffisamment pressée ne se comprime plus et arrête le mouvement ; de cette façon l'outil est ménagé et il ne se produit pas de rupture.

A chaque coup de balancier une brique est rebattue et un piston démouleur permet de la retirer du moule.

513. Poteries. Wagons. — Avec la terre argileuse on fait encore d'autres produits très employés dans le bâtiment, tels que les boisseaux Gourlier et les wagons.

On les produit au moyen de l'outil que l'on appelle la machine à filer.

C'est une caisse métallique dans laquelle on introduit de la terre, préparée restée longtemps dans des caves ou fosses à terre et qui est corroyée avec la quantité d'eau convenable.

La caisse est munie inférieurement d'une filière de forme appropriée.

Sur la terre vient presser un piston actionné par un treuil, soit à main soit mu par transmission ; au-dessous, se trouve une table mobile horizontale guidée, qui tend toujours à remonter par l'effet de deux contrepoids.

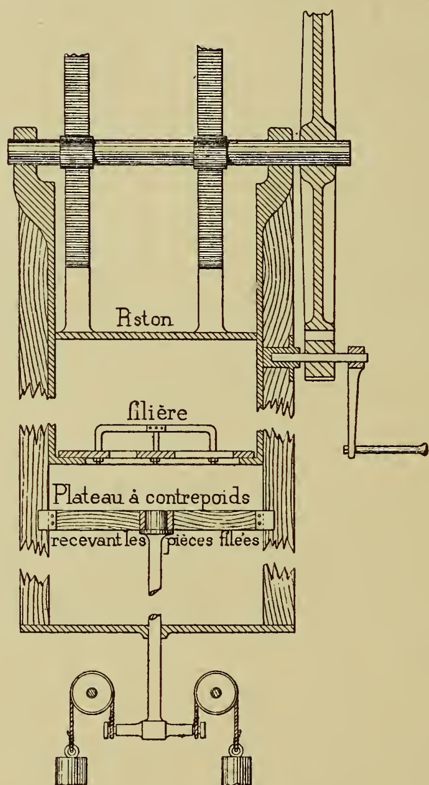


Fig. 781.

La marche de l'appareil est très simple. La caisse étant pleine, on fait marcher le piston ; la terre est comprimée et elle sort par la filière, tout en restant soutenue par la table équilibrée, qui l'empêche de se casser sous l'action de son propre poids. On arrête le mouvement lorsque la hauteur de poterie sortie est suffisante, et on coupe à la longueur demandée, par un fil de laiton tendu sur un châssis, et dont le mouvement est convenablement guidé. On enlève la pièce et on recommence de même pour la suivante.

511. Fabrication des tuiles. Avantage du procédé en pâte molle. — Si maintenant on passe à la fabrication des tuiles, le problème est plus difficile, le produit étant plus délicat et devant correspondre à des exigences multiples.

Il faut une terre de premier choix, très dure, très solide, résistant aux agents atmosphériques et de plus *imperméable*. Il faut que les terres aient été soumises plusieurs hivers aux intempéries et qu'elles subissent des manipulations très soignées, qui les amènent à un état d'homogénéité le plus parfait possible, il est indispensable aussi que les matières soient identiques, pour arriver à avoir un produit de couleur et de qualités constantes.

La préparation varie beaucoup suivant la nature des terres. Il en est quelques-unes qui peuvent être employées seules, mais ce cas se présente rarement. Presque toujours c'est au moyen de mélanges de terres diverses que l'on arrive aux qualités requises.

Il y a lieu de se méfier ici de l'emploi du sable fin, qui réussit si bien dans la fabrication de la brique, en empêchant le retrait, le gauchissement, et assurant la rectitude des produits.

Le sable donne en même temps de la porosité, et le produit n'est plus imperméable ; or, la porosité est le plus grand défaut des tuiles, surtout dans les pays du Nord.

L'absorption de l'eau augmente d'abord de moitié le poids de la couverture, et lorsque l'eau finit par traverser la tuile elle mouille et pourrit la charpente, sans compter l'inconvénient de l'irruption de l'eau.

Autrefois on employait les tuiles plates fabriqués à la main en Bourgogne.

Maintenant on tend à les remplacer presque partout par des tuiles à emboîtement. Celles-ci sont moins lourdes au mètre superficiel, donnent une couverture plus hermétique et se prêtent mieux aux réparations. Elles se sont répandues surtout depuis que, malgré les difficultés que présente la fabrication et les soins minitieux qu'elles réclament, on est arrivé à les produire économiquement et à les vendre à bas prix.

Les terres étant choisies et appropriées au but à remplir,

bien tamisées et bien exemptes de chaux, on les malaxe avec grand soin le nombre de fois nécessaire pour obtenir une pâte homogène, et, entre les passes, on les fait reposer dans des tas ou mieux des fosses à terres pour les arroser et laisser l'humidité se répartir uniformément dans la masse.

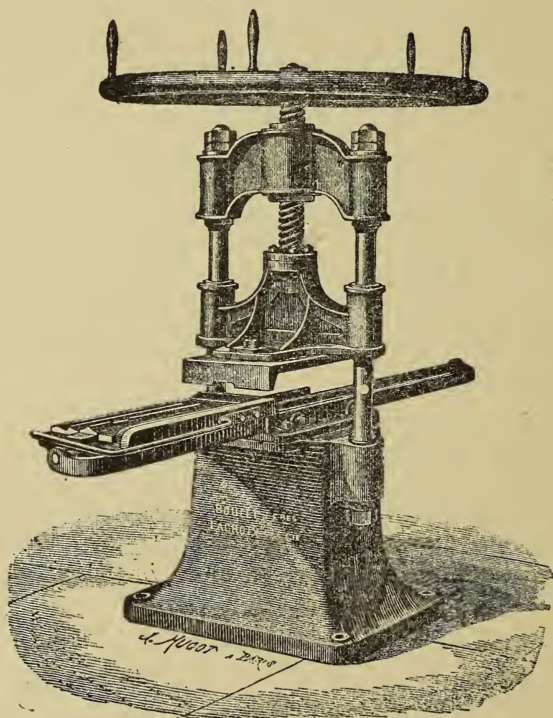


Fig. 782.

La fabrication consiste alors à transformer cette terre en blocs nommés *pelottes* ou *ballons,* à peu près de la dimension des tuiles à produire : puis à les soumettre dans des moules à une pression convenable.

Ces moules pour la fabrication en pâte molle sont en fonte revêtus de plâtre ; ils portent en creux la forme de la tuile. Ils sont en deux pièces, la pièce inférieure est fixe et la pièce supérieure mue d'une façon mécanique vient se superposer à la première après s'en être écartée pour permettre la charge de

la terre. C'est un estampage énergique qui a besoin de se faire en deux fois. Quand la terre a été répartie grossièrement à la main on rapproche les deux moules, la terre est légèrement comprimée ; on relève la pièce supérieure pour permettre à l'air de s'échapper, puis on donne un second coup de presse avec tout l'effort de la machine. Enfin, on sépare de nouveau les moules et on démoule.

La fig. 782 représente une des nombreuses machines employées pour cette fabrication ; c'est une machine à balancier mue à la main, dans laquelle la pièce supérieure du moule est emprisonnée dans un bloc qui reçoit un mouvement alternatif de va et vient.

La pièce inférieure est portée sur un chariot tiroir, dont le mouvement permet de faire la compression, et ensuite de tirer le moule en avant pour faciliter le démoulage. Avec un outil de ce genre, on peut faire par jour 1500 à 2500 tuiles.

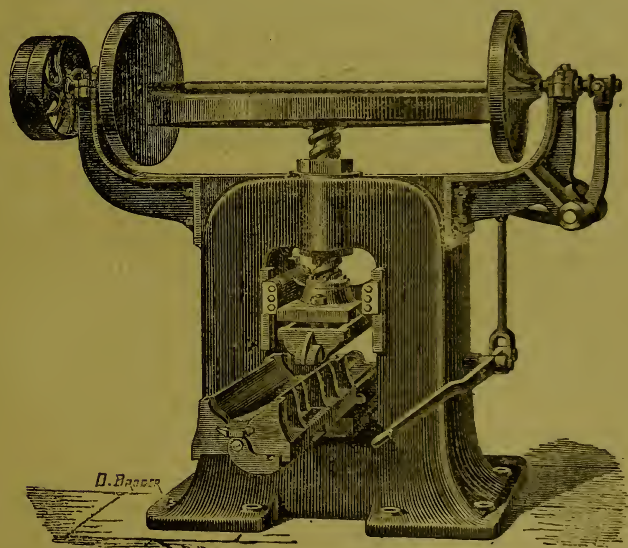


Fig. 783.

Les machines à tuiles et à produits analogues peuvent être commandées par la transmission de l'usine lorsque cette dernière dispose d'une force hydraulique ou d'une machine à vapeur ; la commande de l'arbre fileté du balancier se fait alors

au moyen de deux poulies verticales calées sur un arbre auquel on peut donner un faible mouvement de translation longitudinale ; le déplacement a pour effet de faire actionner par les faces latérales de l'une des deux poulies, alternativement, la poulie horizontale calée sur l'arbre de la vis. On obtient ainsi à volonté un mouvement de montée ou un mouvement de descente de la pièce supérieure du moule, en même temps qu'au moyen de deux poulies, l'une fixée à l'appareil et l'autre folle, on fait marcher ou on arrête la machine.

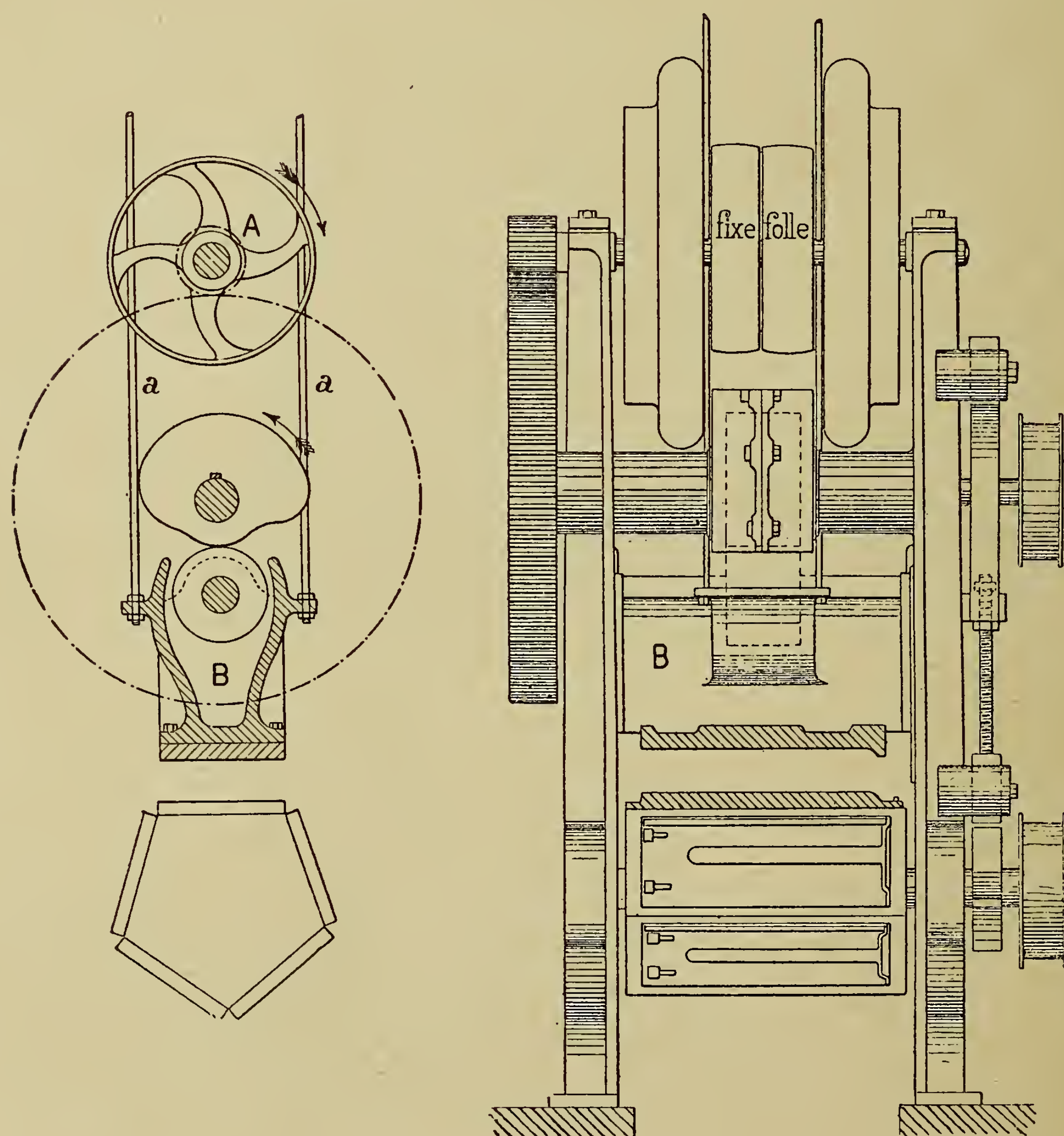


Fig. 784.

La fig. 784 représente une machine ainsi disposée, et pouvant faire aussi bien des arêtiers, faitières ou pièces analogues.

Comme dans la machine précédente, la pièce basse du moule est portée sur un chariot qui permet un démoulage plus facile, en venant mettre la poterie en fabrication à la portée de l'ouvrier.

On a établi bien des formes de machines à tuiles, on peut citer notamment celles qui sont construites en vue d'une production plus considérable et dont la figure 784 donne le principe d'organisation :

Entre deux bâtis parallèles sont placés : 1° un arbre A portant poulies de commande, volants et pignon.

2° Un second arbre plus gros parallèle au premier, dont il reçoit le mouvement par une roue dentée ; le second arbre actionne une came dont on voit la forme dans la vue latérale.

3° Une boîte mobile B, portant la pièce supérieure du moule ; elle reçoit par un rouleau l'action de la came qui tend à l'abaisser tandis que deux tringles *a a* reliées à un contrepoids tirent toujours de bas en haut pour l'élever. De ces deux actions résulte le mouvement alternatif nécessaire à la fabrication.

4° Une boîte pentagonale ou hexagonale portant sur chaque face une pièce inférieure du moule ; un mécanisme très simple présente alternativement les différentes faces à la pression de la pièce supérieure.

L'appareil étant mis en mouvement, un ouvrier met dans une des faces un ballon de terre qu'il étend bien. Au coup suivant, la pièce est moulée et au coup suivant encore la pièce passe de l'autre côté à portée d'un autre ouvrier chargé de démouler.

Ces opérations se faisant d'une façon continue, la fabrication se suit sans interruption, sans perte de temps, et la production est très considérable.

Dans beaucoup de machines les tringles *a a* sont remplacées par des ressorts.

Bien des constructeurs remplacent souvent la boîte prismatique par une table circulaire horizontale rotative, portant un certain nombre de pièces inférieures de moules réparties sur la partie voisine de la circonférence, qui viennent se placer à chaque coup et successivement sous le piston qui porte la contrepartie du moule et qui se meut verticalement. La marche et le débit d'ailleurs sont identiques.

Pour la fabrication des tuiles et produits analogues, la fabrication en pâte molle est celle qui de beaucoup donne les meilleurs résultats.

Cependant on fabrique beaucoup de tuiles en pâtes dures, que l'on corroie le mieux possible avec le minimum d'eau, et on confectionne des produits qui sont loin de répondre comme qualités aux précédents et notamment sont presque toujours gélifs et s'exfolient en peu d'années.

La fabrication ne diffère de la précédente qu'en ce que les appareils sont plus robustes, sont capables de donner des pressions plus énergiques, et que les moules en plâtre, insuffisamment résistants pour ce genre de travail, sont remplacés par des moules en fonte.

On obtient des tuiles d'apparence agréable, ayant des formes et des arêtes d'une netteté parfaite ; mais dont la texture se ressent des laminages successifs qu'on a fait subir à la pâte, et est nécessairement lamelleuse.

Les soudures des différents feuillets sont incomplètes et la tuile exposée aux intempéries ne saurait leur résister longtemps. Il y a très peu d'argiles qui puissent comporter avantageusement ce genre de fabrication.

C'est surtout aux gelées qui surviennent après les pluies et qui saisissent la surface imbibée d'eau, que la tuile faite en pâte dure est attaquée rapidement. Il n'est pas rare d'en voir qui ne puissent supporter deux hivers.

515. Transport et séchage des produits céramiques. — En sortant des machines qui les produisent, les briques et objets divers doivent être transportés dans le local affecté à leur dessiccation. Cette opération se fait en les exposant à l'air à l'abri du soleil et de la pluie. La première condition d'une bonne dessiccation est qu'elle soit lente, pour éviter que les pièces ne gauchissent et ne se fissurent.

Si le local est à rez-de-chaussée, le transport se fait par des brouettes disposées exprès, présentant des tablettes pour ne jamais superposer deux produits d'une façon immédiate. Dans les objets fabriqués en terre molle, une compression locale de l'argile encore tendre ne laisse que peu ou point d'empreinte,

mais détermine forcément à la cuisson un défaut ou une rupture. Aussi, prend-on toutes les précautions possibles dans le transport. Les objets fabriqués en pâte dure sont moins sensibles ; malgré cela on est encore obligé de soigner le transport. Si l'on doit monter les pièces crues dans les étages d'un bâtiment, on y arrive par des monte-charges qui élèvent les brouettes chargées. Quelquefois on a avantage à établir des chaînes sans fin, marchant d'une manière continue et élevant les produits un à un, au moyen de plateaux suspendus convenablement. Un ouvrier charge les plateaux à la partie basse tandis qu'un autre reçoit les produits à la partie supérieure. Si un objet n'est pas reçu à temps, il redescend avec la chaîne et on le reprend au tour suivant.

Le mode de séchage varie avec les produits ; avec les briques, on fait, en les plaçant de champ les unes à côté des autres, des murs à claire-voie et on les abrite par des auvents en planches. Il vaut mieux faire des bâtis en bois portant des tablettes sur lesquels on pose les briques que de les poser en plusieurs rangs les unes sur les autres.

On est plus maître de régler la dessiccation quand on remplace cette organisation par de vastes hangars, clos au pourtour, avec des ouvertures régulièrement disposées et munies de fermetures mobiles.

Dans ces hangars sont rangées régulièrement des étagères que l'on nomme des *perchés* et qui reçoivent sur leurs tablettes les produits à sécher.

Cette disposition permet de faire varier les ouvertures d'après le temps extérieur et d'abriter les terres des gelées tardives ou précoces.

Dans les bâtiments à étages, on cherche à utiliser la place le mieux possible et on établit les perchés à demeure.

Chaque perché a 0 m. 50 de largeur de tablette, une longueur indéterminée, et une hauteur qui ne dépasse guère 2 m. 00 à 2 m. 50. Les tablettes sont à jour et composées de tringles en sapin parallèle, espacées tant plein que vide, et laissent mieux circuler l'air tout en employant moins de bois que ne le feraient des tablettes pleines.

Il est bon de laisser des couloirs de 1 m. 25 entre les perchés

pour la circulation des hommes et des brouettes, et d'ordinaire on dispose leurs rangs divers perpendiculairement aux longues façades des bâtiments. Si donc on prend un entr'axe de 3 m. 50 pour les fermes du bâtiment, on aura au droit de chaque ferme un perché, et un autre au milieu de la travée.

Les deux chemins intermédiaires aboutissant au mur longitudinal se terminent à une fenêtre d'aérage, fermée par un châssis mobile pivotant autour d'un axe vertical et par cela même équilibré.

Des couloirs longitudinaux relient les chemins transversaux entre eux et les font communiquer avec le restant de l'usine.

On a ainsi libres les deux façades longitudinales et on les oriente de telle façon que le bâtiment soit traversé dans son entier par les meilleurs vents du pays.

La hauteur du plancher varie de 2,60 à 3,00.

Ces bâtiments se font en bois ou en fer, généralement en bois qui est meilleur marché et permet un montage plus rapide. On limite le nombre des étages à 2 ou 3 pour éviter d'avoir à élever à trop grande hauteur la marchandise lourde que l'on traite.

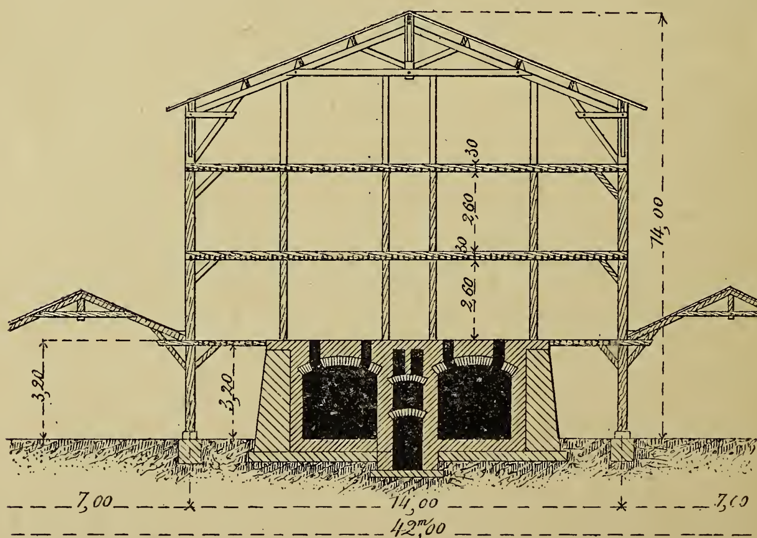


Fig. 785.

Dans les briqueteries bien organisées, on utilise la chaleur perdue des fours pour la dessiccation des produits, et l'on construit au-dessus de l'appareil de cuisson un bâtiment à étages dont les planchers sont recouverts de planches écartées de 0,01 à 0,02 et qui, ainsi disposées à claire-voie, laisse filtrer l'air chaud à travers tout le bâtiment.

La fig. 785 représente la coupe transversale d'un bâtiment à étages ainsi disposé pour recevoir des perchés et utiliser pour le séchage la chaleur perdue du four qui est placé à rez-de-chaussée.

Cette disposition est très heureuse; elle permet des fabrications d'hiver ou tout au moins de demi-saisons qui sont avantageuses et utilisent l'usine.

516. Cuisson des produits céramiques. — La cuisson est la cinquième et dernière opération.

On peut cuire les briques faites en plein champ sans faire de four, c'est ce que l'on appelle *cuire à la volée* ou encore *à la Belge*.

On établit une aire plane d'environ 10 m. de côté et on range les briques à plat en laissant une rigole de 0 m. 80 tous les mètres. Sur la première assise on répand de la houille puis on fait une 2e rangée de briques de champ, en rétrécissant un peu les rigoles, et on continue en les resserrant toujours les diverses assises séparées par de la houille. Les rigoles fermées sont remplies de fagots et de morceaux de charbon que l'on allume pendant que l'on continue le tas. On ménage au sommet des rigoles des cheminées qui passsent à travers les briques et on les resserre plus ou moins, suivant la manière dont le tirage doit être réglé. On monte quelquefois les tas jusqu'à 7 m. 00, on bouche toutes les parois et cheminées avec de l'argile, et on abrite du vent par des paillassons. La cuisson dure 15 à 30 jours.

On brûle pendant ce temps outre les fagots 250 kg. de houille par 1000 briques. Lorsque la cuisson est faite on laisse circuler lentement un peu d'air dans la masse pour la refroidir, et lorsque les briques sont à température maniable on défourne. Dans la cuisson en tas ainsi pratiquée, on a environ le tiers des

briques bien cuites à point; un autre tiers est passable, et le reste trop ou trop peu cuit. Les briques dans le Nord se fabriquent de cette manière en grande quantité et elles se vendent de 12 à 14 fr. le mille.

517. Fours à briques. — Pour avoir de plus belles briques on les fabrique dans les usines avec les procédés perfectionnés, et on les cuit dans des fours.

Les premiers fours consistaient dans un espace parallélipipédique limité par quatre murs épais, soutenus au besoin par des contreforts. Le foyer était placé au milieu et en contrebas et communiquait avec la capacité supérieure par plusieurs carneaux chargés de disséminer la chaleur.

On empilait dans le four les produits à cuire en laissant les intervalles nécessaires pour la circulation des gaz chauds.

Le chauffage par le bas présente un grand inconvénient dû à l'épaisseur du tas des produits à cuire. Il faut que le feu soit assez fort pour cuire les pièces du haut, et alors celles du bas ont été trop chauffées et sont souvent fondues ; d'où un déchet considérable. On y a remédié en chauffant le four au moyen de foyers extérieurs à flamme renversée, nommés *alandiers*, que l'on a multipliés et même dans certains cas rendus mobiles pour porter la chaleur où besoin était.

Un autre grand défaut de ces fours consiste dans la forte proportion de chaleur perdue par la surface ouverte supérieure de la chambre de cuisson. On y a remédié en recouvrant cette ouverture d'une voûte qui rayonne sur les briques la chaleur de la partie haute.

518. Fours continus. — Dans d'autres usines on a essayé de superposer au 1er four un 2e chargé d'utiliser cette chaleur, mais ces dispositions ne se sont pas répandues ; on en a imaginé un grand nombre, mais la cuisson de la terre n'a fait de véritables progrès que du jour où M. Muller, dans son usine d'Ivry, a posé le principe de la cuisson continue et en a commencé les premières applications. C'est par là seulement qu'on peut arriver à obtenir une cuisson régulière, de surveillance facile, méthodique, et économique comme façon et dépense de combustible.

Le principe du four continu est le suivant :

Imaginons un four composé d'une vingtaine de chambres disposées à côté les unes des autres sur deux rangs. Chacune d'elles a son foyer spécial et une communication avec un carneau général de fumée, le tout muni de registres. La fumée est enlevée par une grande cheminée d'usine. Chaque chambre a une porte extérieure pour le chargement et le retrait des produits. La marche d'un pareil four est la suivante :

Supposons la chambre n° 10 en feu ; les produits de la combustion trouvant fermés les registres des chambres 10, 11, 12 et 13, se rendront dans la chambre 14, qu'on vient de finir de charger, et de là à la cheminée ; les chambres 15, 16 et 17 sont en chargement par des portes extérieures.

Le combustible dépensé dans la chambre 10, après avoir servi à la cuisson des terres qu'elle renferme, va donc utiliser la chaleur que les gaz conservent pour échauffer successivement les chambres suivantes, et cela d'autant plus qu'elles sont plus immédiatement voisines. Il y a là une grande économie de combustible, puisque la fumée peut être refroidie autant que l'on veut et qu'on n'a besoin de lui conserver que la température nécessaire au tirage ; mais il y a de plus un avantage encore plus grand, c'est celui d'exposer les produits à un chauffage très lent et tout à fait méthodique, qui en fin de compte supprime presque complètement les déchets, tout au moins ceux qui se produiraient dans les fours communs par un contact trop brusque avec les flammes.

Lorsqu'on mettra en feu la chambre 11 les produits y seront déjà presque portés au rouge, et il ne faudra que peu de combustible pour achever la cuisson ; à ce moment on fera passer les fumées à travers les chambres 12, 13, 14 et 15, reculant d'une chambre à chaque fois et préparant le chargement en conséquence.

Cette cuisson dans des chambres successives présente encore l'avantage suivant :

Les terres une fois cuites ne sauraient sans grand déchet être saisies par un refroidissement brusque, et le four continu permet de les refroidir aussi méthodiquement et aussi lentement qu'on le désire.

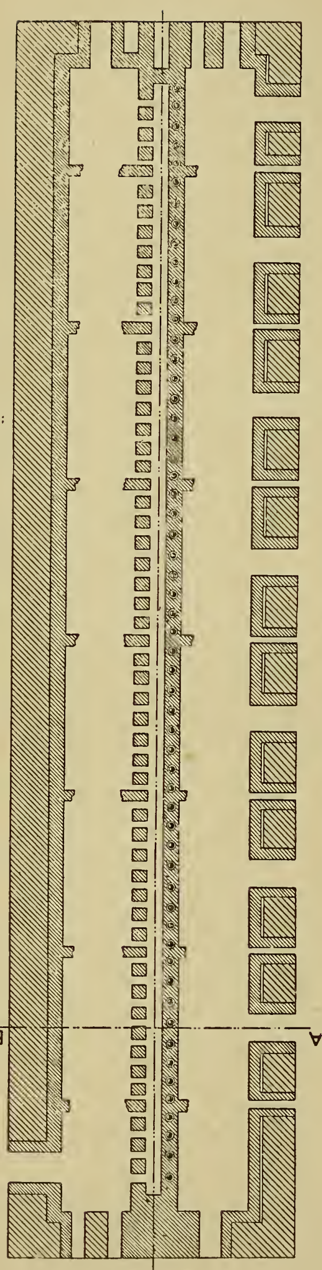


Fig. 786. — 1° Demi plan à hauteur de la naissance des carneaux d'air et de fumée.

2° Demi plan à hauteur de la naissance des portes

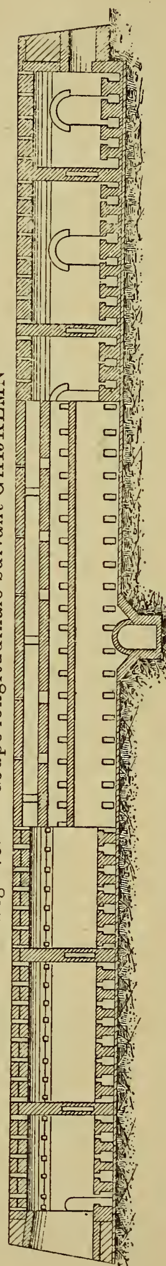


Fig. 787. — Coupe longitudinale suivant GHIJKLMN

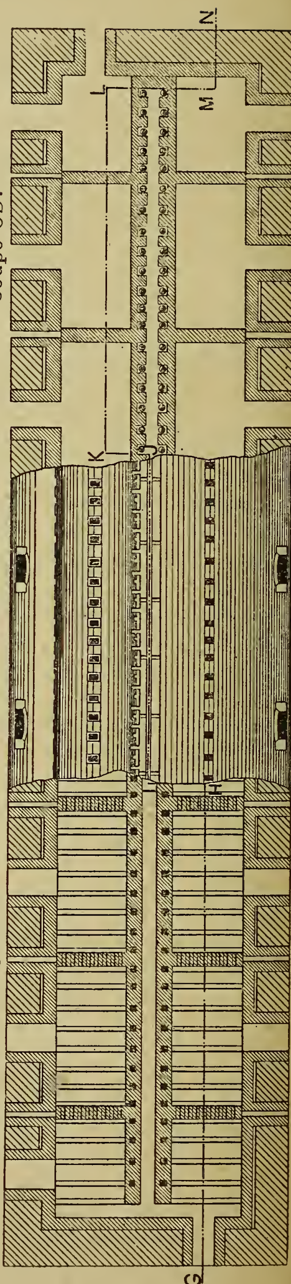


Fig. 788. — Coupe EF. Plan au-dessus des voûtes. Coupe CD.

Si nous reprenons l'hypothèse de la chambre 10 en feu, ce sera pendant ce temps la chambre 4 qui sera en défournement, la chambre 5 sera ouverte à l'accès de l'air ; les registres de communication avec la cheminée seront fermés dans les chambres 5, 6, 7 et 8, et celui de la chambre 9 sera ouvert ; de la sorte, l'air entrant par la chambre 5 sera forcé de parcourir lentement les chambres suivantes pour s'échapper par la chambre 9 vers la cheminée. Dans ce parcours l'air s'échauffe progressivement, et il n'arrive à la chambre 9 qu'on vient de cuire qu'à une température peu inférieure à celle des terres qu'elle renferme ; le refroidissement méthodique que l'on fait subir aux poteries est d'autant plus lent que l'air franchit plus de chambres à la fois.

Il y a donc toujours dans ce four une chambre en feu, des chambres suivantes en chauffe et des chambres précédentes en refroidissement, et la dernière qu'on va défourner, est à peu près ramenée à la température extérieure.

Et l'ordre de la cuisson étant régulier, le feu fait le tour du four.

Si le nombre des chambres est suffisant on peut même avoir dans un même four deux chantiers de travail, ayant chacun des chambres en échauffement et des chambres en refroidissement, le travail se produisant dans le même sens dans les deux ateliers.

Ces fours continus ont encore reçu une amélioration importante par la disposition spéciale des chambres et la manière de brûler le combustible. La fig. 786 représente un de ces fours formés par 16 chambres en deux rangs ; elle donne le demi-plan à la hauteur des naissances des carneaux d'air et de fumée, et le demi-plan à la hauteur de la naissance des portes.

La représentation de ce four est complétée par les croquis suivants :

La fig. 787 qui donne la coupe verticale de l'ensemble du four suivant la ligne brisée GHIJKLMN, la fig. 788 qui donne les plans à diverses hauteurs et enfin la coupe transversale (fig. 789) suivant AB, qui montre la position relative des chambres et des carneaux de fumée.

Il résulte de l'examen de ces plans que les chambres sont disposées pour recevoir à leur intérieur des murs verticaux parallèles formés par les produits secs et superposés à cuire.

Coupe transversale suivant AB.

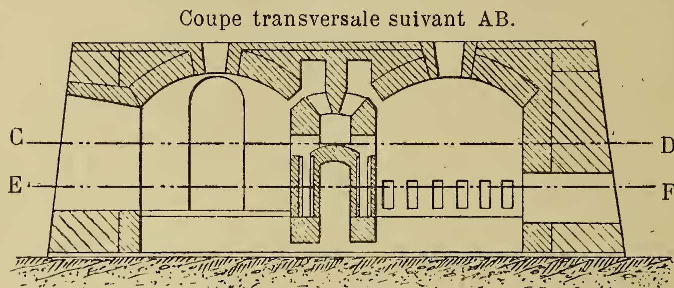


Fig. 789.

Dans la plupart il y en a sept. Dans les intervalles sont des grilles permettant de brûler le combustible que l'on peut disposer d'avance, et des ouvreaux supérieurs situés dans le même plan vertical permettent de surveiller l'allure et au besoin, d'ajouter du combustible. Chaque chambre communique avec un conduit d'air par le haut et par le bas, en même temps qu'elle peut communiquer par le bas avec le carneau de fumée ; de plus elle a sa porte de chargement ou de défournement que l'on ferme pendant la marche par un muret en briques.

Cela posé, reprenons la marche du four en supposant que la chambre nº 10 soit en feu. Les tranches successives chauffées par leur combustible spécial cuisent régulièrement et la fumée, comme dans le four précédent, va chauffer les chambres suivantes. La seule différence réside en ce que l'air qui s'est échauffé en traversant les chambres 6, 7, 8 et 9, en refroidissement, au lieu d'aller à la cheminée pour s'échapper au dehors, vient dans le conduit de la chambre en feu et sert à l'alimentation de ses foyers ; de telle sorte que la chaleur qu'il contient est utilisée et diminue encore dans des proportions notables la consommation de combustible.

Aux extrémités de tous ces fours les dernières chambres correspondent à des alandiers qui servent à l'allumage ; la combustion se propage ensuite de proche en proche. On la conduit à la guise du contremaître par la manœuvre des registres.

519. Four Hoffmann. — Un autre four continu qui a eu une grande vogue, et est encore très fréquemment employé dans les briqueteries, est le four Hoffmann inventé en 1855. Il est circulaire ou allongé ; dans ce dernier cas il se compose de deux demi-cercles reliés par des alignements droits.

Une grande galerie est disposée au pourtour, et au milieu se trouvent les carneaux d'air chaud et de fumée. Ce dernier correspond à une grande cheminée placée au centre ou même en dehors et raccordée par un carneau plongeant.

La galerie peut être séparée au moyen de registres en chambres, à la demande, et des rainures sont disposées au pourtour pour recevoir ces registres. Les produits sont disposés en tranches successives comme dans les fours précédents, et dans les intervalles on interpose le combustible. On met un régistre pour séparer la chambre en défournement des suivantes, et on ferme le registre qui correspond à la dernière chambre en échauffement. L'air qui s'est échauffé sur les produits à refroidir alimente les tranches en plein feu et les produits de la combustion se refroidissent en échauffant un certain nombre de tranches enfournées précédemment. La marche est donc toujours la même et produit une grande économie de combustible.

La fig. 790 représente un demi-plan du four Hoffmann en même temps qu'une demi-coupe horizontale montrant la galerie, l'emplacement possible des registres, les portes de communication avec l'extérieur, et les carneaux de fumée.

La fig. 791 donne une coupe en travers de la galerie suivant CD et une coupe longitudinale de cette même galerie suivant EF. On y voit les regards qui permettent d'introduire le combustible entre les tranches, en même temps que les départs de fumée.

Chacun de ces derniers peut à volonté être obturé par une cloche ou un cône manœuvré du dessus du four.

La fig. 792 représente la coupe suivant l'axe par un plan vertical, montrant le carneau de fumée et les débouchés des branchements.

La fig. 793 montre la coupe transversale suivant la ligne

LÉGENDE.
Mortier de ciment
Mortier de terre
Remplissage de sable
Pierres naturelles (Modèles)

Plan

Vue d'en haut

Fig. 790. — Four Hoffmann.

MN, elle indique la forme du carneau de fumée et la coupe par l'axe d'un branchement, le cône obturateur fermé.

Coupe CD. Coupe EF.

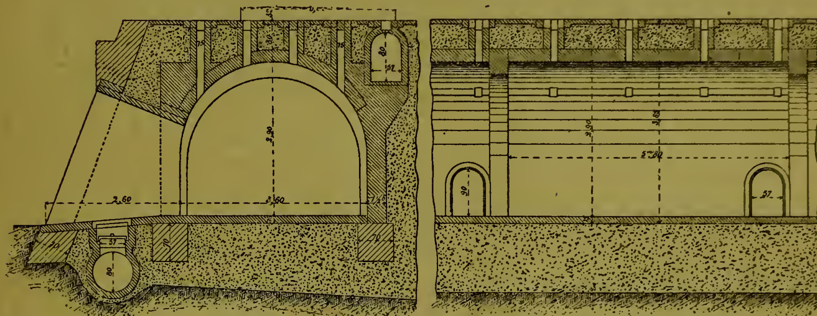


Fig. 791.

Coupe AB.

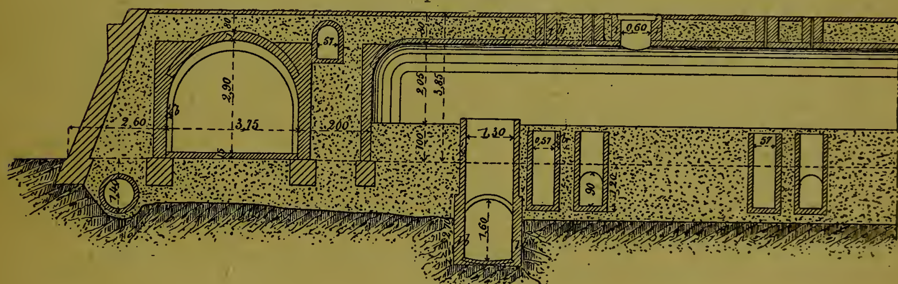


Fig. 792.

Coupe LM.

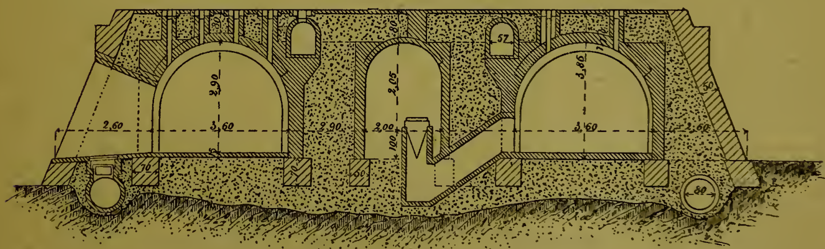


Fig. 793.

La construction du four est très solide et faite pour s'opposer aux dilatations ; le pourtour est formé par un mur en moellons exécuté avec un fruit très considérable, il s'appuie sur un remplissage en sable argileux qui entoure la construction en briques de la galerie des carneaux. La partie supérieure est recouverte par un carrelage général en briques dures, dans lequel débouchent les tubes en fonte qui constituent les ouvreaux et qui servent à juger de la cuisson et aussi à introduire le combustible. Ce four contient 14 chambres de 50 mètres cubes chacune, et le tirage est déterminé par une haute cheminée représentée fig. 794.

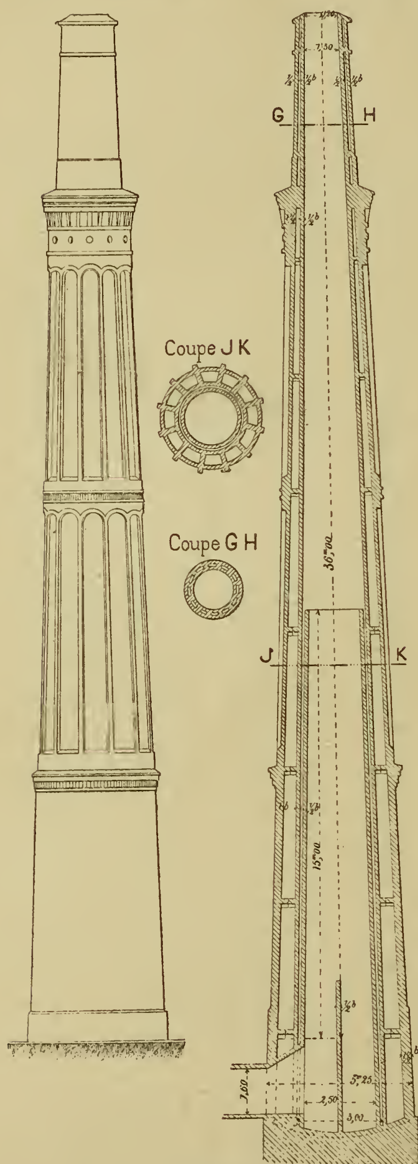


Fig 794.

Cette cheminée se fait souvent, surtout en Allemagne, patrie de l'inventeur du four, avec des briques spéciales ; l'enveloppe extérieure a une brique et demi d'épaisseur à la partie basse jusqu'à la corniche, puis, au-dessus, une demi-brique.

Une 2e partie conique se trouve à l'intérieur, montée avec une demi-brique dans toute la hauteur, et de temps en temps ces deux maçonneries sont reliées ensemble

dans le sens longitudinal et le sens transversal, comme le montre la coupe suivant l'axe et les coupes horizontales JK et GH.

Enfin une chemise intérieure, isolée, de une demi-brique d'épaisseur, en briques réfractaires monte jusqu'à la moitié de la hauteur de la cheminée. Elle peut se remplacer sans toucher au reste de la construction, lorsqu'un long service au feu l'a mise hors d'usage.

Les cheminées ainsi comprises emploient le minimum de briques et sont très économiques.

520. Fours à gaz. — Un perfectionnement s'impose encore à tous ces genres de fours et les résultats obtenus permettent d'espérer prochainement une réussite complète. Il s'agirait de substituer les combustibles gazeux au coke ou à la houille employés. On obtiendrait une plus grande économie de combustible et une régularité plus complète de cuisson.

La difficulté est de faire entrer dans chaque partie du four successivement de l'oxyde de carbone produit dans un gazogène unique, de le brûler en lames minces au moyen d'air chauffé par les chaleurs perdues, et enfin d'éviter les explosions dans les changements de destination et de direction de ces gaz. Mais évidemment là est le dernier progrès à atteindre pour la cuisson des terres. M. Muller a obtenu des résultats remarquables à son usine d'Ivry dans l'emploi des combustibles gazeux et d'autres manufacturiers sont sur la voie.

521. Dimensions et qualités des briques. — Les briques de Bourgogne ont 0 m. 22 sur 0,107 et sur 0,055 ; à Montereau on en fabrique de qualité analogue, mais d'épaisseur réduite à 0,050 ou 0,052 ; ce sont les meilleures briques que l'on puisse se procurer aux environs de Paris. Elles pèsent 2200 à 2250 kg. le mille.

Les briques que l'on fabrique aux environs immédiats de la capitale, Vaugirard, Sarcelles, Bicêtre, etc., et même dans un rayon un peu plus étendu, portent le nom de briques de pays, ou briques façon Bourgogne ; les moules ne diffèrent guère que par leur épaisseur qui varie de 0,060 à 0,075.

Lorsque l'argile est ferrugineuse la brique est rose ou rouge, mais bien souvent, comme à Vaugirard, cette couleur est complètement masquée par les poussiers de charbon et de mâchefer que l'on mélange à l'argile comme dégraissants, et qui lui donnent une couleur complètement noire à l'intérieur.

L'emploi de ces matières sèche la brique plus facilement, brûle en partie dans la cuisson et la rend plus légère, ce qui est apprécié dans la pratique, tout en procurant une certaine économie de combustible.

La qualité qui est le plus à rechercher dans la brique est la résistance la plus grande dont la terre soit susceptible, et on ne l'obtient que par une cuisson parfaite. On la juge au son en frappant deux briques ensemble, elles résonnent clair ; le son est mat au contraire si la brique n'est pas homogène, si elle est fissurée dans son intérieur, ou enfin si elle est imparfaitement cuite. Les observations ci-dessus restent les mêmes pour toutes sortes de produits en terre, poteries grossières, carrelages, tuiles, etc.

522. Briques creuses. — On emploie maintenant considérablement les briques creuses, dont les moules sont très nombreux suivant les briqueteries et suivant les localités. Elles présentent l'avantage de demander moins de terre, d'exiger moins de façon, une moins grande force mécanique, de sécher facilement et de se prêter à une fabrication d'hiver ou de demi-saison, alors qu'il ne faut pas songer à fabriquer de la brique pleine. Dans la pratique, tous les hourdis, les cloisons et voûtes légères, la partie haute des murs peuvent dans bien des cas être construits en briques creuses. Les applications de ces produits se généralisent tous les jours. Leur résistance est souvent assez grande pour qu'on puisse en faire un ou deux étages de constructions légères ou provisoires, qui sèchent presqu'immédiatement après l'exécution.

FIN.

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE VI

CLOISONS, PLANCHERS, VOUTES

§ 1. — Des cloisons en maçonnerie.

§ 2. — Des planchers en maçonnerie.

§ 3. — Des voûtes.

CHAPITRE VII

ESCALIERS EN MAÇONNERIE

§ 1. — Généralités sur les escaliers.

§ 2. — Des perrons et escaliers extérieurs.

§ 3. — Des escaliers intérieurs en pierre.

CHAPITRE VIII

ÉLÉMENTS DE DÉCORATION INTÉRIEURE

§ 1. — Décoration des murs.

§ 2. — Décoration des fenêtres et portes.

§ 3. — Des cheminées.

§ 4. — Décoration des plafonds et voûtes.

CHAPITRE IX

REVÊTEMENTS DES SOLS

§ 1. — Revêtements du sol à l'extérieur des édifices.

§ 2. — Revêtements des sols à l'intérieur des bâtiments.

CHAPITRE X

ROCHES NATURELLES

CHAPITRE XI

CHAUX & CIMENTS

§ 1. — Propriétés générales.

§ 2. — Procédés de fabrication des chaux et ciments.

§ 3. — Essais de résistance.

§ 4. — Des mortiers et des bétons.

CHAPITRE XII

DU PLATRE

CHAPITRE XIII

PRODUITS CÉRAMIQUES

Laval, imprimerie et stéréotypie E. Jamin.

